ГОДИШНИК

НА МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ "СВ. ИВАН РИЛСКИ" – СОФИЯ

Том 58

Свитък I: Геология и геофизика

ANNUAL

OF UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY "ST. IVAN RILSKI" – SOFIA

Volume 58 Part I: Geology and Geophysics



Издателска къща "Св. Иван Рилски" Publishing House "St. Ivan Rilski" София, 2015 Sofia, 2015

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Павел Павлов – главен редактор проф. д-р Вяра Пожидаева – зам. главен редактор проф. д-р Йордан Кортенски – председател на редакционен съвет проф. д-р Венцислав Иванов – председател на редакционен съвет доц. д-р Антоанета Янева – председател на редакционен съвет проф. д-р Десислава Костова – председател на редакционен съвет инж. Александрина Пачалова – секретар

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ на Свитък I: Геология и геофизика

проф. д-р Йордан Кортенски – председател проф. дгн Димитър Синьовски проф. д-р Ради Радичев проф. д-р Страшимир Страшимиров доц. д-р Николай Стоянов

СЪДЪРЖАНИЕ

Раздел 1 – Геология, минералогия и полезни изкопаеми Георги Айданлийски Характеристика на архитектурно-елементните единици в 9 разрезите на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. II. Псамитнодоминирани руслови единици Георги Айданлийски Характеристика на архитектурно-елементните единици в 15 разрезите на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. III. Извънруслови единици Янаки Тенчов 21 Варовиковите късове от разкрития на карбонски и пермски седименти в Северозападна България Илиана Цветкова Скално разнообразие и ледникови форми в района на геотоп 26 Димитър Синьовски Седемте рилски езера 32 Надежда Атанасова Ледникови форми и отложения в района на Рибните езера в Димитър Синьовски природен парк "Рилски манастир" 38 Борис Вълчев Геотоп "Нос Кюприя", гр. Приморско, Бургаска област Венелин Желев Борис Вълчев 45 Геоложки феномени в Понор планина (Западна България) Иван Начев Бануш Банушев Магмените прояви в района на селата Медвен и Садово, 55 Източна Стара планина Иван Димитров Структура на метаморфните скали от северната периферия на 61 манастирските височини, между селата Инзово и Драма, Ямболска област 67 Богдан Проданов Приложение на многолъчеви сонарни системи в геоложкото Любомир Димитров картиране на дънните седименти в краибрежната зона пред плаж Паша дере, Северно Българско Черноморие Богдан Проданов, Морфо-литоложка характеристика на шелфа пред Авренското 73 Любомир Димитров крайбрежие Йордан Кортенски Присъствие и разпределение на пепелообразуващи елементи 79 Кристина Вечкова-Стоева във въглища от Бургаския басейн, България Александър Здравков 87 Христо Димитров Русларско-палеогенска (!) Петролна система в Долнокамчийския седиментен басейн Димитър Петров 93 Корелационни връзки между елементите в рудите от златно-Камен Попов медно находище Челопеч, България Мартин Добрев Основни разломни зони в участък "Западен" на находище 99 "Челопеч" Петя Кузманова

Ирена Костова Деница Апостолова Екатерина Филчева Ласло Клайн Митко Попов	Геохимичен състав и свойства на почви от остров Ливингстън, Антарктида	107
Л. Тувхуу Л. Лхагвасурэн	Към въпроса за качеството на опробване на проучвателното сондиране на разсипни находища на злато	117
Теменуга Георгиева Венелин Желев Георги Айданлийски Антонио Лаков Стоян Стоянов	Нови геологоструктурни данни за кариера "Люляката", Девненско	124
Красимира Кършева	Оценка на риска от наводнение в Елховското структурно понижение, в района на гр. Елхово	130
Янко Герджиков Диан Вангелов Зорница Доцева	Тектонски проблеми в Ботевградско-Етрополската част на Балканидите	135

Раздел 2 – Геофизика, хидрогеология и инженерна геология, сондиране и добив на нефт и газ

Стефан Димовски Николай Стоянов	Локализиране на подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци в слабоводоносен скален комплекс	140
Ради Радичев Емил Михайлов Християн Цанков Атанас Кисьов	Гравиметрични системи използвани в Република България и оценка точността на системи IGSN-71 и UNIGRACE при точки от гравиметричните и мрежи	146
Ради Радичев Емил Михайлов Николай Кирилов	Високоточни гравиметрични измервания на някои отсечки от софийския полигон и базите към него	153
Иван Парушев Бойко Рангелов	Предварителни проучвания и изследване на кинематичен модел на система за мониторинг и ранно предупреждение от земетресения в условията на "Асарел ЕАД"	158
Мая Григорова	Влияние на оператора за изглаждане на скоростните функции върху действието на дълбочинната Кирхоф миграция преди сумиране	162
Мая Григорова	Влияние на остатъчните скорости след дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране	167
Стефчо Стойнев Антонио Лаков	Оценка опасността от втечняване на хвоста от хвостохранилище «Люляковица» - определяне динамичната якост на хвоста	172

Антонио Лаков Стефчо Стойнев	Геотехнически условия на тунел "Кресна" от АМ "Струма"	178
Николай Стоянов	Математически филтрационен модел на термоминерално находище "Хасковски минерални бани"	184
Николай Стоянов	Математически моделни изследвания за оценка на защитния ефект от глинестия изолационен екран и задържащата способност на геоложката основа на депа за битови отпадъци	190
Цэвээнжав Ж. Дугэржав Л. Наранбат М. Чинбат Ч. Тувшинбаяр Д. Ганбаатар П. Улзийсайхан О.	Изследване, оценка и типизация на геолого-техническите условия на сондиране на находищата на полезни изкопаеми на Монголия	196
Ина Божинова-Попова	Определяне на взаимодействието на близко разположени фундаменти на силози за зърно при наличието на слаби зони в земната основа	206
Ася Божинова-Хаапанен	Деформационни свойства на структурирани глини	210
Таня Василева Татяна Орехова	Оценка на подхранването на подземните води в Дунавската равнина (Северна България) по климатични данни	214
Петър Гергинов	Оценка на ролята на вертикалната филтрация на подземните води в обсега на АЕЦ "Козлодуй"	220
Димчо Евстатиев Ванушка Петрова	Щампови изпитвания на циментопочвена възглавница	226
Мартин Бояджиев Лъчезар Георгиев	Модел за определяне на зависимост между температурата на околната среда и на природния газ използван в домакинствата в Р. България	232
Емил Ойнаков	Микросеизмично сондиране, статистически характеристики на полето в района на Интермизийския разлом	236
Християн Цанков Атанас Кисьов	Експериментални георадарни изследвания на памук могила край с. Брестовица, община Родопи, област Пловдив	242
Цэвээнжав Ж. Дугэржав Л. Наранбат М. Чинбат Ч. Тувшинбаяр Д. Ганбаатар П. Улзийсайхан О.	Оценка на технологичното ниво на сондажните работи	247

CONTENTS

Part 1 – Geology, Mineralogy and Mineral Deposits

George Ajdanlijsky	Architectural-element unit characteristics of the Petrohan terrigenous group sections in part of Western Stara Planina mountain. II. Sand- dominated channel units	9
George Ajdanlijsky	Architectural-element units characteristics of the Petrohan terrigenous group sections in part of Western Stara Planina mountain. III. Overbank units	15
Yanaki Tenchov	The limestone pebbles at the outcrops of carboniferous and permian sediments at Norwest Bulgaria	21
lliyana Tsvetkova Dimitar Sinnyovsky	Rock diversity and glacial forms in geotop seven Rila lakes area	26
Nadezhda Atanasova Dimitar Synnyovsky	Glacial formations and deposits in the area of the Fish lakes in Rila Monastery Natural park	32
Boris Valchev Venelin Jelev	"Kyupriya cape" geotope, town of Primorsko, Bourgas district	38
Boris Valchev Georgi Nachev	Geological phenomena in Ponor mountain (Western Bulgaria)	45
Banush Banushev	Magmatic manifestations in the region of Medven and Sadovo villages, East Stara Planina	55
Ivan Dimitrov	Structure of the metamorphic rocks from the northern periphery of the manastir heghts, between the villages Inzovo and Drama, lambol district	61
Bogdan Prodanov Lyubomir Dimitrov	Application of multibeam echo sounding systems in seabed geological mapping. Case study: Pasha dere coastal zone, Northen Bulgarian Black sea	67
Bogdan Prodanov Lyubomir Dimitrov	Morpho-lithological characterization of the shelf in front of Avren coast, Bulgarian Black sea	73
Jordan Kortenski Kristina Vechkova-Stoeva Alexandar Zdravkov	Occurrence and distribution of major elements in coals from Bourgas basin, Bulgaria	79
Hristo Dimitrov	Ruslar-paleogene (!) Petroleum system in Dolna Kamchiya sedimentary basin	87
Dimitar Petrov Kamen Popov	Correlations between elements in ores from the gold-copper deposit Chelopech, Bulgaria	93
Martin Dobrev Petya Kuzmanova	Fault zones in West part of "Chelopech" deposit	99

Irena Kostova Denitsa Apostolova Ekaterina Filcheva Laslo Klain Mitko Popov	Geochemical composition and properties of Antarctic soil samples from Livingston Island	107
Л. Тувхуу Л. Лхагвасурэн	К вопросу качества опробования разведочного бурения россыпных месторождений золота	117
Temenuga Georgieva Venelin Jelev George Ajdanlijsky Antonio Lakov Stoyan Stoyanov	New geostructural data for "Lyulyakata" quarry, Devnya district	124
Krasimira Karsheva	Flood risk assessment at the Elhovo structural decline in Elhovo town	130
lanko Gerdjikov Dian Vangelov Zornitca Dotceva	Tectonic problems in Botevgrad-Etropole part of the Balkanides	135

Part 2 – Geophysics, Hydrogeology and Engineering Geology, Drilling and Oil and Gas Production

Stefan Dimovski Nikolay Stoyanov	Selection of appropriate sites for constructiont of monitoring wells in a rock complex characterized by low water-bearing characteristics	140
Radi Radichev Emil Mihaylov Chistian Tzankov Atanas Kisiov	Gravimetric systems used in Republic of Bulgaria and evaluation of the accuracy of IGSN-71 and UNIGRACE systems of points of gravimetric networks	146
Radi Radichev Emil Mihaylov Atanas Kisiov Nikolay Kirilov	High accuracy gravimetric measurements of some sections of the Sofia polygon and its bases	153
Ivan Parushev Boyko Ranguelov	Initial research of the kinematic model of a system for monitoring and seismic early warning for "Asarel" Ltd	158
Maya Grigorova	Influence of smooth operator in velocity model building for pre- stack Kirchhoff depth migration	162
Maya Grigorova	Influence of residual moveout corrections after pre-stack Kirchhoff depth migration	167
Stefcho Stoynev Anotnio Lakov	Estimation of the liquefaction hazard of the tailings from Lyulyakovitza tailings dam – determination of the dynamic strenght of the tailings	172

Anotnio Lakov Stefcho Stoynev	Geotechnical conditions of Kresna tunnel from Struma Highway	178
Nikolay Stoyanov	Mathematical flow model of the geothermal site "Haskovo mineral baths"	184
Nikolay Stoyanov	Mathematical modelling studies for assessing the protective effect of the isolating clay layer and the retention capacity of the geological basis of landfills	190
Цэвээнжав Ж. Дугэржав Л. Наранбат М. Чинбат Ч. Тувшинбаяр Д. Ганбаатар П. Улзийсайхан О.	Исследование, оценка и типизация геолого-технических условий бурения месторождений полезных ископаемых Монголии	196
Ina Bozhinova-Popova	Determining the interaction of closely positioned foundations of grain silos in the presence of weak areas in the ground foundation	206
Assia Bozhinova-Haapanen	Deformation properties of structured clay soils	210
Tanya Vasileva Tatiana Orehova	Evaluation of the groundwater recharge for the Danubian plain (Northern Bulgaria) based on climatic data	214
Peter Gerginov	Evaluation of vertical groundwater flow in the area of NPP "Kozloduy"	220
Dimcho Evstatiev Vanushka Petrova	Plate tests of a soil-cement cushion	226
Martin Boyadzhiev Luchezar Georgiev	Model for the determination relationship between ambient temperature and the natural gas used by households in R. Bulgaria	232
Emil Oynakov	Microseismic sounding, statistical characteristics and application for the region of Intermiziyski faults	236
Christian Tzankov Atanas Kisyov	Experimental georadar survey on pamuk mound located near Brestovitsa village in Plovdiv region	242
Цэвээнжав Ж. Дугэржав Л. Наранбат М. Чинбат Ч. Тувшинбаяр Д. Ганбаатар П. Улзийсайхан О.	Оценка технологического уровня буровых работ	247

ХАРАКТЕРИСТИКА НА АРХИТЕКТУРНО-ЕЛЕМЕНТНИТЕ ЕДИНИЦИ В РАЗРЕЗИТЕ НА ПЕТРОХАНСКАТА ТЕРИГЕННА ГРУПА В ЧАСТ ОТ ЗАПАДНА СТАРА ПЛАНИНА. II. ПСАМИТНОДОМИНИРАНИ РУСЛОВИ ЕДИНИЦИ

Георги Айданлийски

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, g.ajdanlijsky@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Псамитнодоминираните руслови архитектурно-елеметни единици в разрезите на Петроханската теригенна група в Западна Стара планина са представени от елементи SB, DA и LA. Елемент SB е изграден от литофациеси Str, Sp, SI, и Sr, формиращи тела с твърде разнообразен вътрешен строеж и геометрия. Към този елемент се отнасят и литофациални пакети, изградени основно от литофациес Sr. Образуването му е резултат от развитието на полета от разнообразни по геометрия пясъчни ребра, вълни и валове, както и покровни тела от горен режим на потока, формирани вътре в русловия комплекс. Характерен е за речни системи с псамитнодоминиран твърд сток. Вертикалното натрупване на единиците една над друга се свързва с различни по периодика флуктуации на потоковият режим. Сред основните отличителни белези на елемент DA са: 1) присъствието на второ- и треторангови нискоъгълни ограничителни повърхнини, потъващи по посока на локалното направление на седиментен палеотранспорт и 2) сравнително малкият ъгъл, който сключват преобладаващата посока на потъване на проградационните и акреционни повърхнини и локалната посока на седиментен палеотранспорт и 2) сравнително малкият ъгъл, който сключват преобладаващата посока на потъване на проградационните и акреционни повърхнини и локалната посока на седиментен палеотранспорт. Формирането на елемент DA се свързва с развитиета на полета от мезо- и дребномащабни пясъчни тела, придвижващи се надолу по потока през и около по-едромащабни макроформи. Елементът представлява предимно вътрешноруслови съставни валове, нарастващи поповърхности, показващи регресивно и в по-малка стелен на содиции - литофациеси Str, Sp, SI и Sr. Дефинитивен за него белег са акреционните треторангови и повърхности, показващи регресивно порилятане към основата на руслото, с коса до перпендикулярна на основното направление на палеопотока в руслото, посока на потъване на тези повърхности. Възникването на елемент LA се дължи на развитието на периферноруслови валове (коси), нарастока в руслото, посока на потъване на тези п

Ключови думи: долен триас, Петроханска теригенна група, архитектурно-елеменетн анализ, руслови единици

ARCHITECTURAL-ELEMENT UNIT CHARACTERISTICS OF THE PETROHAN TERRIGENOUS GROUP SECTIONS IN PART OF WESTERN STARA PLANINA MOUNTAIN. II. SAND-DOMINATED CHANNEL UNITS George Ajdanlijsky

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, g.ajdanlijsky@mgu.bg

ABSTRACT. The sand dominated architectural-element units represented in the Petrohan Terrigenous Group profiles in Western Stara Planina Mountain are elements SB, DA и LA. Element SB is build up by lithofacieses Str, Sp, SI, and Sr, and forms bodies with diversified internal structure and geometry. To this element relate lithofacial packages, built up mainly by lithofacieses Str. Sp, SI, and Sr, and forms bodies with diversified internal structure and geometry. To this element relate lithofacial packages, built up mainly by lithofacieses Str. Sp, SI, and Sr, and forms bodies with diversified internal structure and geometry. To this element relate lithofacial packages, built up mainly by lithofacies Sr. Its formation is result of development of various as geometry fields of sand ripples, waves and bars development, as well as sand sheets from the upper stream regime, formed inside the channel complexes, and the character of the sand dominated fluvial system. The vertical stacking of the units one over another are associated with varied as frequency fluctuation of the flow regime. Among the major hallmarks of DA element are the presence of second- and third-rank low-angle surfaces that dip towards the local sedimentary paloeotransport direction and the relatively small angle between the prevailing dip-direction of the progradation surfaces and the local sedimentary paloeotransport direction. Element DA is generated by fields of meso- and small-scale sand bodies, that migrate down the stream through and around the large-scale macroforms and represents mainly in-channel composite bars, that progradationally increase and, to a lesser extent, through lateral accretion or vertical aggradation. Element LA is built up by variety of sand dominated lithofacies associations - lithofacieses Str, Sp, SI and Sr. Definitive about it feature are the accretion third-rank bounding surfaces, showing offlap the top of the unit and downlap to channel bottom, with oblique to perpendicular dip-direction oblique to perpendicular to t

Key words: Lower Triassic, Petrohan Terrigenous Group, architectural-element analysis, in-channel units

Въведение

Настоящата публикация е част от поредица, целяща представянето на дефинитивните белези и особеностите на проява на архитектурно-елементните единици, установени във флувиалната част на разрезите на Петроханската теригенна група (Тронков, 1981), в част от Западна Стара планина. Фокусът в нея е върху групата на псамитнодоминираните руслови архитектурно-елементи единици, които са представени от: (а) псамитнодоминирани макроформи (sandy bedforms) – елемент SB; (б) проградационни псамитни макроформи (downstream-accretion macroforms) – елемент DA; (в) латерално-акреционни отложения (вътрешномеандрова седиментна коса - lateral-accretion deposits) – елемент LA. Към тази група принадлежат и покрововидни тела от хоризонталнослоести пясъци (laminated sand sheets) – елемент LS, който много по-често е развит сред извънруслови отложения, и поради това е разгледан в друга публикация (Айданлийски, 2015). Ползваната при описанието на единиците литофациална терминология, символи и бравиатури, както и тази свързана с ограничителните повърхнини е съгласно Айданлийски (2014).

Архитектурно-елементни единици

Елемент SB - псамитнодоминирани макроформи

Описание

Елемент SB е изграден основно от литофациеси Str, Sp, Sl, и Sr, и е представен от тела, показващи твърде разнообразна геометрия и вътрешен строеж. Те са контролирани от ограничителни повърхнини от втори и трети ранг. Долната и горната ограничителни повърхности на единицата са от четвърти ранг, като горната понякога е изпъкнала. Наблюдава се както нормална, така и инверсна градация по отношение на зърнометричната характеристика на единиците. Често срещано е натрупване един над друг на няколко елемента SB, формиращи по този начин комплекс от елементи. Съобразно доминиращите в строежа на еле-

мента литофациеси се отделят няколко негови разновидности. Най-широко разпространение имат телата, изградени преобладаващо от литофациес Str, в които като второстепенен и предимно в по-горните им части, участва и литофациес Sp. Дебелината на подобни единици варира в рамките на няколко дециметра до над 2,95 m. Понякога в горнището на подобни тела се наблюдават врязани нискоразредни канали (фиг. 1). По-ограничено разпространение има елементът SB, представляващ литофациален ансамбъл. доминиран главно от литофациес Sp. Нерядко горната част на подобни тела е изградена от литофациес Sr или дори от алтернация на Sr, Fr и Sh при доминация на първия. Максималната измерена дебелина на тази разновидност на елемент SB възлиза на 2,35 m и е измерена в западната част на Врачанска Стара планина. Понякога сред разливни отложения се наблюдават пластовидни тела, изградени от разнообразни псамитнодоминирани литофациални ансамбли, доминирани от литофациеси Sp и Str. Основата им представлява ерозионна повърхност от четвърти ранг. Чест белег на тези последователности е инверсната градационна слоестост.

Към този елемент се отнасят и литофациални пакети, из-



Фиг. 1. Комплекс от наложени един върху друг елементи SB, наложен ерозионно върху интервал от заливнотерасови финозърнести отложения, с развити в тях елементи CS. Максимална амплитуда на ерозията е 0.6 m. Посоката на плоскостта на разкритието сключва ъгъл 15° с доминиращата за разкритието посока на седиментен палеотранспорт. Условни знаци: *абревиатури* (1-2): 1) литофациес; 2) архитектурно-елементова единица; 3) ранг на ограничителна повърхност; *текстури* (4-6): 4) ребра на течение; 5) възходящи ребра; 6) страна и наклон на коса слоестост.

градени основно от литофациес Sr, каквито често се наблюдават върху почти всички останали видове псефитно- и псамитнодоминирани архитектурни елементи. В случаите, когато няма достатъчно теренни данни за отделяне на елементи CS и LS (Айданлийски, 2015) подобни тела са описвани условно като елемент SB.

Интерпретация

Съгласно Miall (1995), дефинитивен белег на елемент SB е доминиращата роля на вертикалната аградация при неговото формиране. По това той се отличава от елементи LA и DA, при които водеща е страничната и челната акреция на седиментен материал. Тази отлика предопределя, както особеностите на вътрешния му строеж, така и спецификите на обстановките и процесите, които го генерират. Най-общо, образуването на елемент SB е резултат от развитието на полета от разнообразни по геометрия пясъчни ребра, вълни и валове (литофациеси Sr, Str и Sp) и покрововидни тела от горен режим на потока (литофациеси SI и Sh), развити вътре в русловия комплекс. Характерен е за речни системи с псамитнодоминиран твърд сток и се проявява под формата на разнообразни литофациални ансамбли (Allen, 1968; Southard, 1971; Harms et al., 1975; Miall, 1977). Вертикалното натрупване на единиците една над друга се свързва с различни по периодика флуктуации

на потоковия режим – от събитиен или сезонен характер до многогодишни такива (Miall, 1996). Според същия автор, доминираните от литофациес Str елементи SB представляват отложения, резултат от миграцията на 3-D пясъчни вълни, заемащи дълбоките участъци на активните канали. Врязаните в горнището на подобни тела нискоразредни канали се обясняват с промяна на режима на потока или спадане на водата в него (McGowen and Garner, 1970; Plint, 1983). Присъствието на литофациес Sp се свързва с поплитките (горни части на макроформите или попериферните части на канала) и е указание за развитие на праволинейни, напречни на течението пясъчни валове (Smith, 1970, 1972; Cant and Walker, 1978). Доминираните от литофациес Sp елементи SB се свързват с миграцията в сравнително плитководни условия на напречни на потока мезоформи (Smith, 1972; Blodgett and Stanley, 1980; Levey, 1978; Cant and Walker, 1978). Присъствието в горната им част на драперии от литофациеси Sr и/или Fr (FI) указва за етапите на маловодие (Smith, 1970; Blodgett and Stanley, 1980). Въпреки че според някой автори (Miall, 1996) телата, изградени от литофациес Sr, следва да се тълкуват като резултат от седиментация по време на спадане на водното ниво в потока, протичаща в плитките участъци на активните канали и/или върху мезо- и макроформите вътре в руслото, твърде широкото разпространение на подобни единици в разнообразни алувиални обстановки значително понижава тяхната диагностична стойност.

Елемент DA - проградационни макроформи

Описание

Отделянето на елемент DA изисква добра разкритост на целия каналов комплекс и възможност за мащабно измерване ориентацията на ограничителните (проградационни и акреционни) повърхнини, мезомащабната коса слоестост и другите текстури-индикатори на доминиращата в конкретното тяло посока на седиментен палеотранспорт. Основните характеристики на елемент DA са две: (а) присъствието на второ- и треторангови нискоъгълни (<10°) ограничителни повърхнини, потъващи по посока на локалното направление на седиментен палеотранспорт (фиг. 2а, виж още Айданлийски и др., 2004, фиг. VII-4), и (б) преобладаващата посока на потъване на проградационните и акреционни повърхнини и/или мнозинството от измерванията на страната на косата слоестост и локалната посока на седиментен палеотранспорт да не сключват ъгъл по-голям от 60°. В случаите, когато този ъгъл е по-голям, но преобладават повърхнините, потъващи по посоката на доминиращите палеотечения, елементът се обозначава като DA/LA. Освен потъващите по посоката на палеотранспорта ограничителни повърхнини, се наблюдават и такива, потъващи косо, перпендикулярно и дори срещу посоката на палеопотока (фиг. 2б). Измерените в един елемент DA азимути на страната на косата слоестост могат да показват от дивергентен до конвергентен модел на разпределение.



Фиг. 2. Фотопанорами на: (а) разкритие на едромащабен съставен елемент DA, ориентирано косо спрямо посоката на нарастване (към десния край на фотографията). Единицата е доминирана от литофациес Str, докато литофациеси Sp и Sr са с подчинено присъствие. В средната част на тялото е развита треторангова ограничителна повърхност, "драпирана" от финозърнести материали. Разкритието е успоредно на доминиращата за субмезоцикъла посока на палеотранспорт; (б) разкритие на елемент DA с ясно изразена ограничителна повърхност, потъваща в посока, обратна на доминиращата при генериране на тялото посока на седиментен палеотранспорт.

Обикновено елемент DA е доминиран от литофациес Str и по-рядко от литофациес Sp, но често се наблюдават и разнообразни съчетания и последователности от литофациеси Sp, Str, Sh, Sl и Sr. По правило, слоестостта в литофациеси Sh и SI е паралелна или субпаралелна на второи треторанговите повърхности. Богатите на гравий елементи са по-редки. Нерядко, особено в горните части на елемента, върху отделни, предимно субхоризонтални ограничителни повърхнини, са развити тънки драперии или поредица от тънки леши от литофациеси FI и Fr. Долната и горната ограничителни повърхнини на елемент DA са от четвърти ранг. Много от второ- и треторанговите ограничителни повърхности вътре в него имат характер на реактивационни повърхнини. По правило, латералното разпространение на елемент DA се контролира от размерите на каналовата структура, в която е развит, поради което формата на телата, изградени от този елемент, често е неправилна.

Интерпретация

Формирането на проградационните макроформи е сред най-мащабните седиментационни активности на алувиалните системи с преобладаващ песъчлив твърд сток и поради това техният анализ е съществен за коректната интерпретация на алувиалния стил. Това са предимно вътрешноруслови съставни валове, нарастващи проградационно и в по-малка степен посредством латерална акреция или вертикална аградация. Подобни тела са описани при изучаването, както на съвременни (Collinson, 1970; Cant and Walker, 1978; Bluck, 1974, 1980, Miall, 1994), така и на древни (Wizevich, 1992) алувиални системи. Образуването им се свързва с развитието на мобилни. съставни и порядко единични валове с неправилна форма и напречни размери, сравними с тези на канала, в който се формират (Miall, 1996). При това височината им е указание за минималната му дълбочина. Геометрията и вътрешният строеж на тези съставни валове са пряко свързани с дълбочината и ширината на руслото, стабилността на потоковия режим, количеството и зърнометричната характеристика на твърдият му сток. Формирането на подобни съставни валове е продължителен и относително непрекъснат процес.

Приема се, че елемент DA се генерира основно от полета от мезо- и дребномащабни пясъчни тела, придвижващи се надолу по потока, през и около по-едромащабни макроформи (Allen, 1983; Haszeldine, 1983). Проградационните процеси протичат главно върху подветрения склон на макроформата. Това довежда до образуване на нискоъгълните повърхнини, потъващи в направление успоредно или косо на посоката на палеопотока (Bristow, 1987). Акреционно нарастват само отделни части от фланговете на макроформите. Различната скорост на напредване на централните и периферни участъци може да доведе до постепенна замяна на проградационна с предимно акреционна седиментация (Miall, 1996, фиг. 6.26), а оттук и до развитие на типични за елемент LA тесктурни и морфоложки белези. Поради това хоризонталните и вертикални преходи между тези два елемента не са рядкост. Според Crowley (1983), потъващите срещу потока нискоъгълни треторангови ограничителни повърхнини се формират предимно по време на спад на водното ниво в канала.



ханската теригенна група при гара Лакатник. Основата на ЕАЦ представлява ерозионен асиметричен канал от 5^{-ти} ранг с остатъчни псефитни отложения (литофациес Bbr), врязан в елемент OF. Амплитудата на рал и в последствие разширил значително). Елемент LA е изграден от латерално и вертикално прехождащи едно в друго тела от литофациеси SI и Sp или комбинация от тях. Наблюдават се добре изявени, на места ментарният алувиален цикъл завършва с дебел 0,45-0,5 m пластовиден елемент ОF, в ограничена част на който е развит литофациес Р, представен от издържано ниво от долокрети. Посоката на плоскостта на ерозионното врязване на канала е 0.5 м. Оста на този канал приблизително съвпада с тази на значително по-тесен и плитък по-стар канал от 4^{ли} ранг (елемент , когото високоранговият канал вероятно е реактивиподчертани от пелитни материали, акреционни повърхности от 2²⁴⁴ и 3⁻¹⁶ ранг потъващи в посока И-СИ с наклон от 7° до 18°. В най-горната част от елемента са установени синседиментационни деформации. Елеразкритието сключва ъгъл 28° с доминиращата за разкритието посока на палеотранспорт и представлява кос срез на долна (подветрена) част на пясъчна коса. Разкритието позволява директно измерване на реал-Фиг. 3. Фотопанорама на разкритие (а) и архитектурно-елементова диаграма (б) на архитектурен елемент LA развит в русловата част на елементарен алувиален цикъл (EAU) от горната част на профила на Петроната дълбочина на руслото (1,75 m), в което е формирана пясъчната коса. Ползваните в диаграмата условни знаци са съгласно фигура 1. Вариациите в литофациалния състав и геометрията на елемент DA вероятно отразяват флуктуации в режима на потока. Развитието вътре в тях на реактивационни и каналоподобни ерозионни повърхнини се свързва с периоди на плитководие (Cant and Walker, 1978). При частично понижаване на нивото на водата в канала и/или при спадане енергията на потока, по повърхността на вече формирания проградационен вал се развиват полета от различни по геоматрия дребни седиментни ребра (литофациес Sr). При последващо покачване на нивото на потока, те отново се покриват от мезомащабни руслови форми (Collinson and Thompson, 1989).

Елемент LA - латерално-акреционни макроформи

Описание

Съгласно Miall (1996), основен дефинитивен белег на архитектурен елемент LA са "... акреционните, спокойно потъващи треторангови ограничителни повърхности, показващи регресивно прилягане (offlap) към горнището на единицата и базално прилягане (downlap) към основата на руслото ..." (фиг. 3; виж още Айданлийски и др., 2004. фиг. VII-5). Долнището на елемента е ерозионна повърхност от четвърти или пети ранг. Горнището му, най-често, е покрито от прируслови песъчливи, финозърнести литофациеси или е нарушено от нискоразредни ерозионни ограничителни повърхнини. Външната геометрия и литофациалният състав на елемент LA са силно изменчиви. Наклонът на вътрешните за него треторангови ограничителни повърхности варира от 3÷5° при латерално-мащабните форми и над 22° при телата с незначителна ширина. Посоката на потъване на тези повърхности е коса до перпендикулярна на основното направление на палеопотока в руслото.

Елемент LA е изграден от разнообразни, предимно псамитно доминирани литофациални асоциации, формирани основно от литофациеси Str, Sp, Sl и Sr. Характерен белег за него са значителните вариации на посоката на потъване на слоестостта в сериите от литофациес Str. Голямото разнообразие на текстури понякога може да затрудни разпознаването на латерално-акреционната му геометрия. Когато тялото е изградено предимно от литофациес Sp, вътрешният му строеж наподобява описаната от Allen (1963) ε(епсилон)-тип коса слоестост. По-опростени в строежа си са елементите LA, изградени основно от финозърнест пясъчник и алевролит. При тях наложените процеси и белези върху акреационната повърхност са редки, малки по размер, а самите повърхности са стръмно потъващи и лесно разпознаваеми.

Интерпретация

Подобно на елементи DA и SB, водещо при идентифицирането и на елемент LA е установяването на типа на доминиращия при неговото формиране процес, който в случая е акреционната акумулация. Възникването на елемент LA се дължи на развитието на периферноруслови валове (*point bars*), нарастващи в резултат на латерална акреция в направление, косо до напречно на доминиращите в руслото течения (Miall, 1994). Едромащабните форми на този елемент се обозначават като пясъчни коси (Miall, 1996). Те са характерен белег за високосинусоидалните (меандриращи) и в по-малка степен за анастомиращите речни системи. Crowley (1983) счита, че в хидродинамично отношение елемент LA от меандриращия тип речна система е сравним с елементите DA от ниско синусоидалните едноруслови и многоруслови (анастомиращ тип) речни системи. В нискосинусоидалните реки развитието на елемент LA е рядкост, докато в анастомиращи такива, той често присъства (Bristow, 1987).

Елемент LA е привързан към вътрешната страна на меандрите на руслото. Темповете на нарастването му зависят от процесите на ерозия в останалите части на меандъра и от енергията и обема на общия твърд сток на реката. Вътрешната геометрия и особеностите на изграждащия го литофациален комплекс е отражение на зърнометричната характеристика и темпа на разтоварване на твърдия сток на потока, геометрията на меандъра и особеностите на хидродинамичния режим на потока. По ширината на елемента LA може да се съди за общата ширина на алувиалния канал. Според Allen (1965), тя отговаря приблизително на две-трети от ширината на руслото. В повечето случаи дебелината (височината) на този елемент е равна или се приближава максимално до максималната дълбочина на съответния канал (Miall, 1996). Leeder (1973) свързва величината на наклона на акреационната повърхност с отношението ширина/дълбочина на продуциращия елемента канал. Поради това изучаването му може да послужи като важен източник на информация за реалната морфология и мащаба на алувиалната система, която го продуцира.

Посоката на миграция на отделните меандрирови или анастомиращи ръкави, също води до генериране на характерни белези в строежа на елемент LA (Willis, 1989). Миграцията на пясъчните коси надолу по течението често довежда до огрубяване на горната част на профила на елемента. Обратно, напречната на руслото миграция продуцира класическия (издребняващ нагоре) алувиален профил, предложен от Allen (1970). В допълнение трябва да се отбележи, че дори и близко разположени в едно и също русло, елементи LA показват твърде разнообразен вътрешен строеж и външна форма. Съгласно Willis (1989), в случаите, когато е налице елемент LA, продуциран от мигрираща надолу по потока пясъчна коса, измерванията на ориентацията на косата слоестост и акреционните повърнини в него могат да се използват и за точна ориентация на изследваното разкритие спрямо изследвания елемент и спрямо оста на продуциралия го алувиален канал. Прилагането на този подход за древни отложения е коментиран от Willis (1993). Според Jackson (1975), издребняващият нагоре профил е представен само в обърнатия надолу по потока участък на меандровата извивка. Присъствието на нискоразредни ерозионни канали, резултат от флуктуации в хидродинамичните условия, могат частично да "замъгляват" геометрията на типичния елемент LA. Нерядко в едно и също тяло могат да се наблюдават едновременно белези на акреция и на проградация, които дори могат и да се редуват. Подобни белези са описани както в съвременни, така и в древни алувиални последователности, продуцирани от анастомиращ тип речна система (Miall, 1996).

Литература

- Айданлийски, Г. Параметри на архитектурно-елементния анализ на алувиално-доминирани континентални седиментни посредователности. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 57, св. I, Геол. геофиз., 2014. - 25-30.
- Айданлийски, Г. Характеристика на архитектурно-елементните единици в разрезите на петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. III. Извънруслови единици. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 58, св. I, Геол. геофиз., 2015. - (под печат).
- Айданлийски, Г., Д. Тронков, А. Щрасер. Цикличност в долнотриаската серия между ж.п. спирка Оплетня и мах. Сфражен. – В: Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом (ред. Синьовски, Д.), С., Изд. В. Недков, 2004. - 90-101.
- Тронков, Д. Стратиграфия триасовой системы в части Западного Средногорья (Западная Болгария). -*Geologica Balc.*, 11, 1, 1981. - 3-20.
- Allen, J.R.L. The classification of cross stratified units. With notes on their origin. Sedimentology, 2, 1963. 93-114.
- Allen, J.R.L. A review of the origin and charactereristics of recent alluvial sediments. - Sedimentology, 5, 1965. - 89-191.
- Allen, J.R.L. Current ripples. Their relation to patterns of water and sediment motion. North-Holland Publ., 1968. - 433 p.
- Allen, J.R.L. Studies in fluviatile sedimentation: a comparition of fining-upward cyclothems with special reference to coarse-member composition and interpretation. - J. Sed. Petrol., 40, 1970. - 298-323.
- Allen, J.R.L. Studies in fluviatile sedimentation: bars, barcomplexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams in the Browstones (L. Devonian), Welsh Borders. -Sediment. Geol., 33, 1983. - 237-293.
- Blodgett, R. H., K. O. Stanley. Stratification bedforms, and discharge relation of the platte braided river system, Nebraska. – J. Sed. Petrol., 50,1, 1980. - 0139-0148.
- Bluck, B. J. Structure and directional properties of some valley sandur deposits in Southern Iceland. - Sedimentology, 21, 1974. - 533-554.
- Bluck, B. J. Structure, generationand preservation of upward fining braided stream cycles in the Old Red Sandstone of Scotland. - *Trans. R. Soc. Edinburg, Earth Sci.*, 71, 1980. -29-46.
- Bristow, C. S. Brahamaputra river: channel migration and deposition. – In: *Recent development in fluvial sedimentol*ogy (eds Ethridge, F., R. Flores and M. Harvey) Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Soc. Publ., 1987. - 63-74.
- Cant, D. J., R. G. Walker. Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. - Sedimentology, 25, 1978. - 625-648.
- Collinson, J. D. Bedforms of Tana River, Norway. Geogr. Ann., 52A, 1970. - 31-56.
- Collinson, J. D., D. B. Thompson. Sedimentary Structures. Unwin Hyman, London, 1989. - 207 p.
- Crowley, K. D. Large-scale bed configurations (macroforms), Platte River Basin, Colorado and Nebraska: Primary structures and formative procasses. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, 1983. - 117-133.
- Harms, J. C., J. B. Southard, D. R. Spearing, R. G. Walker. Depositional Environments as Interpreted fron Primary

Sedimentary Structures and Stratification Sequences. Lecture Notes: SEPM Course Notes, 2, Dallas, 1975. - 161 p.

- Haszeldine, R. S. Descending tabular cros-bed sets and bounding surface from a fluvial channel in the Upper Carboniferous coalfield of north-east England. – In: *Modern* and Ancient Fluvial Systems (eds Collinson J. and J. Lewin). Int. Assoc. Sed., Spec. Publ. 6, 1983. - 449-456.
- Jackson, R. G. Hierarchical attributes and a unifying model of bed forms composed of cohesionless material and produced by shearing flows. - *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86, 1975. -1523-1533.
- Leeder, M. Sedimentology and palaeogeography of the Upper Old Red sandstone in the Scottish Border basin. - *Scott. J. Geol.*, 9, 2, 1973. - 117-144.
- Levey, R. A. Bedform distribution and internal stratification of coarse grained point-bars, Upper Congaree River, S. C. In: *Fluvial sedimentology* (ed. Miall, A. D.). Can. Soc. Petrol. Geol., Memoir 5, 1978. - 105-128.
- McGowen, J. H., L. E. Garner. Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars: modern and examples. - Sedimentology, 14, 1970. - 77-111.
- Miall, A. D. A review of the braided river depositional environment. - *Earth Sci. Revs.*, 13, 1977. - 1-62.
- Miall, A. D. Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: example from the Castlegate Sanstone, Book Cliffs, Utah. – J. Sedim. Res., B64, 2, 1994. - 146-158.
- Miall, A. D. The Geology of Stratigraphical Sequences. Springer-Verlag, 1995. - 439 p.
- Miall, A. D. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996. - 582 p.
- Plint, A. G. Facies, environmets and sedimentary cycles in the Middle Eocene, Bracklesham Formation of the Hampshire Basin: evidance for global sea-level changes. - *Sedimentology*, 30, 1983. - 665-684.
- Smith, N. D. The braided stream depositional environment: Comparison of the Platte river with some Silurian clastic rocks, North-Central Appalachians. - *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81, 1970. - 2993-3041.
- Smith, N. D. 1972. Some sedimentological aspects of planar cross-stratification in a sandy braided rivers. - J. Sediment. Petrol., 42: 624-634.
- Southard, J. B. Representation of bed configurations in depthvelocity-size diagrams. - J. Sed. Petrol., 41, 4, 1971. - 903-915.
- Wizevich, M. C. Sedimentology of Pennsylvanian quartzone sandstones of the Lee Formation, Central Appalachian Basin: fluvial interpretation based on lateral profil analysis. – *Sedimet. Geol.*, 78, 1992. - 1-47.
- Willis, B. J. Palaeochannel reconstruction from point bar deposits: a three-dimentional perspective. - *Sedimentology*, 36, 1989. - 757-766.
- Willis, B. J. Interpretation of bedding geometry within ancient point-bar deposits. – In: *Alluvial sedimentation* (eds Marzo, M. and C. Puigdefabregas) Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 17, 1993. - 101-114.

Статията е рецензирана от доц. д-р Валери Сачански и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ХАРАКТЕРИСТИКА НА АРХИТЕКТУРНО-ЕЛЕМЕНТНИТЕ ЕДИНИЦИ В РАЗРЕЗИТЕ НА ПЕТРОХАНСКАТА ТЕРИГЕННА ГРУПА В ЧАСТ ОТ ЗАПАДНА СТАРА ПЛАНИНА. III. ИЗВЪНРУСЛОВИ ЕДИНИЦИ

Георги Айданлийски

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, g.ajdanlijsky@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Сред извънрусловите отложения на Петроханската теригенна група в Западна Стара планина се отделят четири архитектурни елемента. Пластовидните тела, изградени предимно от литофациеси Sh, Sl и Sm, при подчинено присъствие на литофациеси Sp, Str или Sr, се обозначават като елемент LS (слоести пясъчни покрови), чието образуване се свързва с мащабни наводнения. Елемент LV – хетеролитни прируслови нискорелефни валове (естествени диги), е представен от пластовидни до клиновидни тела, изградени от алтернация на алевритови до глинесити пясъчници на литофациеси Sh, Sl и Sr и финозърнести хипоскали. Образуването му е многоактов процес и се свързва с "разтоварване" на носения от реките теригенен материал при разлив, непосредствено след напускането му на контура на руслото. За елемент OF - финозърнести седименти от разливната равнина (заливната тераса), изграден основно от литофациеси Fm и Fl и по-рядко от литофациес Fsc, е характерна покрововидната геометрия на телата. Основните фактори, които контро- лират неговата форма и дебелината са количеството и видът на привнасяния в разливната равнина седименте натериал и доминиращият руслово стил. Лещо-, клино- и покрововидните пясъчникови тела с дебелина от няколко дециметра до няколко метра и значителна латерална издържаност, развити сред разливни отложения (слемент OF), се отделят като елемент CS - крайруслови потокови отложения. Обикновено този елемент се доминира от литофациеси St, SI и Sr и се разглежда като изява на делтовидни инскорелефни конуси в разливната равнина, непосредствено до речните русла, формирани при скъсване на прируслови валове (диги) по време на наводнение.

Ключови думи: долен триас, Петроханска теригенна група, архитектурно-елементен анализ, извънруслови единици

ARCHITECTURAL-ELEMENT UNITS CHARACTERISTICS OF THE PETROHAN TERRIGENOUS GROUP SECTIONS IN PART OF WESTERN STARA PLANINA MOUNTAIN. III. OVERBANK UNITS

George Ajdanlijsky

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, g.ajdanlijsky@mgu.bg

ABSTRACT. Four architectural elements among the overbank deposits of Petrohan Terrigenous Group in Western Stara Planina Mountain are recognized. Flat bodies built up mainly of lithofacies Sh, Sl and Sm, with subordinate presence of lithofacies Sp, Str and Sr, are termed as element LS (laminated sandy sheets), which development is connected to large scale flood events. Element LV – heterolithic near-channel low-relief bars (natural levees), is represented by flat to wedge-shaped bodies, built up of alternation of silty to clayey sandstones of lithofacies Sh, Sl and Sr and fine-grained hyporocks. Its formation is a multistage processconnected to discharging of the terrigenous stock of the rivers during flood events, immediately after its leaving the channel contour. For element OF (fine-grained sediments from overbank plain), built up mainly of lithofacies Fm and Fl and less by lithofacies Fsc, flat geometry of the bodies is typical. The main factors which control its shape and thickness are the amount and the type of the sediment input in the overbank plain and the prevailing fluvial style. Lens-, wedge- and sheet-like sandstone bodies with thickness from to hundred cm and significant lateral persistence, developed among the overbank deposits (element OF) are recognized as element CS – crevasse splay. Normally, this element is dominated by lithofacies Str, Sl and Sr and is interpreted as a manifestation of deltoid low-relief cones (fans?) in the flood plain, immediately to the channels formed at levee break during the flood.

Key words: Lower Triassic, Petrohan Terrigenous Group, architectural-element analysis, overbank units

Въведение

Изучаването на извънрусловите архитектурно-елементни единици е от съществено значение за дефинирането, не само на алувиалния стил и режим, но и за палеогеографския анализ на континентални последователности. Определянето на типа, дела и разпространението на изграждащите ги архитектурни единици е неотменимо изискване за успешното решаване на подобен род задачи.

Като част от тематична поредица публикации, целяща представянето на особеностите на архитектурно-елементните единици, установени в алувиалната част на разрезите

на Петроханската теригенна група (Тронков, 1981) в обхвата на Берковската единица от Западна Стара планина, настоящата работа е фокусирана върху тези, представени в извънрусловите отложения. Наред с дефиниране и охарактеризиране на всеки един елемент, е направена интерпретация на условията на неговото възникване и е оценено негово значение при провеждане на фациални и палеогеографски реконструкции в подобен тип последователности. Принципите и методите на отделяне на елементите, литофациалните единици, използвани при описание на вътрешния им строеж, както и характерът и рангът на ограничителните повърхности и абревиатурите, ползвани в текста и фигурите, са съгласно Айданлийски (2014а). Площното и вертикално развитие, мащабът и формата на проява на тези единици в изследваната площ варират в широки граници. При все това, при изучени общо 33 бр. профила на Петроханската теригенна група, само в два от тях – при вр. Копрен и вр. Калугерска кукла (фиг. 1), не е установено присъствие на някой от архитектурните елементи, принадлежащи на тази група, възможно поради непълната им разкритост.



Фиг. 1. Карта на разпространението на Петроханската теригенна група (ПТГ) в изследвания район: (1) изследвана площ (на врезката); (2) разкрития на ПТГ; (3) разломи от съвременния структурен план; (4) населено място.

Архитектурно-елементни единици

Сред извънрусловите отложения на Петроханската теригенна група, в изучената част на Западна Стара планина, се отделят четири архитектурни елемента.

Елемент LS - слоести пясъчни покрови

Описание

Пластовидни тела, изградени предимно от литофациеси Sh, Sl и Sm (фиг. 2, разрез 12 - горна част, виж още Айданлийски, 2014б, фиг. 3) и силно подчинено присъствие на литофациеси Sp, Str или Sr (най-вече в горната част на единиците), се обозначават като елемент LS. Ограничителните повърхнини вътре в единиците са сравнително равни и субпаралелни на основата на елемента, предимно от втори ранг. Основата е равна до слабоерозионна повърхност (Айданлийски, 2013а, фиг. 2г). Дебелината на отделните единици варира в границите от 0.3 m до над 1.5 m. като най-често е в рамките на 0.5÷0.7 m. Често, в найгорната си част елемент LS завършва или е изграден изцяло от масивни пясъчници от литофациес Sm или такива с неясна хоризонтална слоестост. Врязвания на нискоразредни канали в него са редки или напълно отсъстват. Характерна черта на този елемент е значимата му площна издържаност, като при подходяща разкритост, отделните единици могат да се проследят на десетки, дори стотици метри. Натрупаните една над друга единици могат да достигнат до над 2,2 m дебелина - особеност наблюдавана в горната част на профила на Петроханска теригенна група в изследвания район. Най-многобройни прояви на този

елемент са регистрирани в югоизточния участък на площта.

Интерпретация

Формирането на тела от елемент LS се интерпретира като следствие от мащабни наводнения, при които в равнинни условия, при горен режим на потока, се образуват значими по площ пясъчни покрови (Miall, 1977, 1984; Rust, 1978; Tunbridge, 1981, 1984; Sneh, 1983; McKee et al., 1967). Според Williams (1971), те са продукт от дейността на ефимерни потоци в периферията на плитки и обширни езера. Miall and Gibling (1978) приемат елемент LS като присъщ за седиментите на ограждащите "плая-тип" езера, алувиални системи. Други автори (Schumm, 1968, 1977; Long, 1978) приемат геометрията на елемент LS като следствие от липсата на растителност в алувиалната равнина, което е довело до развитие на слабо канализираните, практически безруслови покрововидни алувиални системи. Според Williams (1971) и Hardie et al. (1978) покровните пясъчни тела, доминирани от литофациеси Sh и SI, са резултат от алувиална седиментация в широки, практически неограничени канали. Развитието на литофациеси Sp, Str или Sr в горната част на елемент LS се свързват с обработка на горнището на елемента, след спадане на енергията на потока в края на наводнителното събитие (Miall, 1985).

Елемент LV – хетеролитни прируслови нискорелефни валове (естествени диги)

Описание

Елемент LV е представен от алтернация от алевритови до глинести или чисти пясъчници, с предимно хоризонтална, нискоъгълно косослоеста и дребномащабно косослоеста текстура (литофациеси Sh, Sl и Sr), и финозърнести хипоскали – най-често литофациеси Fl (фиг. 2, разрези 8 и 12). В строежа на този елемент може да участват и отделни тела от литофациес Bbr (фиг. 2, разрези 12 и 14). Порядко той е изграден преимуществено от литофацеси Sp и/или Str.

Формата на телата е пластовидна до клиновидна, като с отдалечаване от русловия комплекс, горната граница на елемент LV се снижава с наклон от 3÷5° и се заклинва с елемент OF. Долната му граница обикновено е равна, неерозионна. Дебелината на елемента варира в границите на няколко дециметра. Локално, част или цялата дебелина от този елемент може да бъде ерозирана от руслов(и) комплекс(и) от нисък порядък (напр. елементи CH^(CS) или CH₍₄₎, виж Айданлийски, 20146).

Интерпретация

Обикновено образуването на елемент LV е многоактов процес и е свързано с периодичното разливане на реките, при което носеният от тях теригенен материал се "разтоварва" непосредствено след напускането на контура на руслото. Подобно на елемент OF, степента на развитието му е указание за характера на твърдия сток и стила на русловата седиментация. Според Miall (1996), той е характерен предимно за псамитнодоминирани анастомиращи речни системи. Наличието на тесни ерозионни канали (елементи CH^(CS), фиг. 2, разрез 12) или CH₍₄₎), развити в елемент LV, е указание за известна литификация на изграждащите го материали (фиг. 2, разрез 12, виж още Айданлийски, 2013б, фиг. 1а). В изследваните профили на ПТГ той се среща най-често в обхвата на субмезоцикъл MC-2/2 (фиг. 2, виж още Айданлийски, 2010а).

Елемент CS – крайруслови потокови наслаги

Описание

Лещо-, клино- и покрововидните пясъчникови тела, с дебелина от няколко дециметра до няколко метра и значителна латерална издържаност, развити сред финозърнести разливни отложения (елемент OF), се отделят като елемент CS (фиг. 2). Ограничителните им повърхности са равни, от четвърти ранг, най-често слабо ерозионни. Телата от този елемент обикновено са доминирани от литофациеси Str, SI и Sr (Айданлийски и др., 2004, фиг. VII-4), но се наблюдават и такива, почти изцяло изградени от литофациеси SI.

За вътрешния строеж на елемент CS са характерни дребномащабни каналовидни и реактивационни повърхнини, нормална и инверсна градационна слоестост, синседиментационни деформации (фиг. 2, разрез 14). Макар и с



Фиг. 2. Литофациални разрези на представителни за субмезоцикъл МС-2/2 (съгласно Айданлийски, 2010а) елементарни алувиални цикли (ЕАЦ). Индикатори на седиментен палеотранспорт (1-3): 1) – измерени в литофациес Str; 2) – измерени в литофациес Sp; 3) – измерени в литофациес Str. Текстури (4-8): 4) – асиметрични (потокови) ребра; 5) – възходящи ребра; 6) – текстура на свличане; 7) – текстура на внедряване; 8) – текстура на обезводняване. Литология (9-13): 9) – прахести палеопочвени образувания; 10) - палеопочвени конкреции; 11) – преотложени палеопочвени продукти (литофациес Bbr, виж още Айданлийски, 2013б); 12) – екстраформационни псефитни късове; 13) – интраформационни глинести псефитни късове. Ползвани абревиатури – виж текста.

ограничено развитие, понякога вътре в елемента се наблюдават повърхности, характерни за проградационно или латерално-акреционно нарастване.

Интерпретация

Този тип наслаги се разглеждат като делтовидни нискорелефни конуси, развити в разливната равнина, непосредствено до речните русла, в резултат от скъсване на прирусловите валове (диги) по време на наводнение (елемент СН^(CS), фиг. 2, разрез 12 - долна и средна част). Те са образувани за сметка на седиментите, преминали от основното русло през прекъснатия участък на дигите, когато при навлизането им в разливната равнина, енергията на носещия ги поток рязко спада (Gersib and McCabe, 1981).



Фиг. 3. Диаграми на измерената максимална дебелина на елемент ОF в EAЦ в отделените в ПТГ в част от Западна Стара планина мезо- и субмезоцикли (по Айданлийски, 2010а): (а) МС-0; (б) МС-1/1; (в) МС-1/2; (г) МС-2/1; (д) МС-2/2; (е) МС-2/3. Условни знаци: 1) – дебелина, измерена при пълна разкритост, 2) – дебелина, измерена при непълна разкритост; 3) – наличие на глинести интраформационни късове, 4) – площно разпространение на разкритията на ПТГ в изследвания район, 5) – разломи от съвременния структурен план.

Според Miall (1996), инверсната градационна слоестост в елемент CS трябва да се възприема като белег на проградационно нарастване на тялото, докато нормалната градационна слоестост, като резултат от постепенното "изоставяне" на осигуряващия седиментен материал за нарастването на елемент CS елемент CH^(CS). Същият автор приема елемент CS за важен диагностичен белег за анастомиращ тип алувиални системи, тъй като е част от процесите на миграция на речните канали през заливнотерасовите участъци.

Елемент OF - финозърнести седименти от разливната равнина (заливната тераса)

Описание

Характерно за този елемент е покрововидната геометрия на телата. Обикновено долната ограничителна повърхност е неерозиона, а формата й се определя от предхождащи и несвързани с процеса на образуването на елемента събития – например каналова ерозия (виж: Айданлийски, 2013б, фиг. 1а; Айданлийски, 2014б, фиг. 3). В редица случаи се наблюдава зацепване с елемент CS или врязвания на елемент СН^(CS) (Айданлийски, 2014б, фиг. 4). Елемент ОF е изграден основно от литофациеси Fm и Fl, и порядко от литофациес Fsc, като се наблюдават разнообразни вертикални редувания и латерални замествания между тях (виж: Айданлийски, 2013а, фиг. 2а; Айданлийски, 2014б, фиг. 2д). Често в неговия строеж участват различни по форма на присъствие и степен на развитие палеопочвенни продукти - литофациес Р (фиг. 2, разрези 12 и 14, виж още Айданлийски, 2013а, фиг. 1б). Дебелината на отделните елементи варира от дециметри до над 5 метра (Фиг. 2 и 3).

В случаите, когато този елемент е развит под формата на запълване на изоставени алувиални канали (речни старици), той се обозначава като ОГ^(СН) (фиг. 2, разрез 12 – горна част) и се възприема като разновидност на елемент ОГ, отговаряща на елемент FF от номенклатурата на Miall (1996, табл. 7.1) за извънрусловите архитектурни елементи. В тези случаи неговото описание частично съвпада с това на литофациес Ss (Айданлийски, 20136, фиг. 1а,в). Често елементите от тази разновидност имат многоетажен строеж (Айданлийски, 20136, фиг. 1).

Интерпретация

Факторите, контролиращи геометрията и дебелината на елемент OF, са твърде разнообразни (Friend, 1983). Измежду тях от съществено значение са количеството и видът на привнасяния в разливната равнина седиментен материал, русловият стил и скоростта на потъване на басейна. Степента на развитие на този елемент е указание за характера на твърдия сток и стила на алувиалната седиментация. Според Miall (1996), той е характерен за псамитно- до пелитнодоминирани меандриращи или анастомиращи речни системи, докато при псефитно- или псамитнодоминираните многоруслови и едноруслови речни системи развитието му е ограничено. Латералните и темпорални вариации в дебелината на елемент ОF носят ценна информация за процесите, контролиращи седиментацията в обсега на заливната тераса. Те са важен индикатор за етапа, в който се намира надлъжния алувиален профил в процеса на нарушаване и възстановяване на неговото равновесие, оттам и на отделянето и проследяването по площ на алоциклични единици в алувиални последователности. Събраните при изучаването на разрезите на ПТГ данни за дебелината на този елемент в изследваната площ показват, че тя достига своя максимум в средата на подобни цикли (фиг. Зв, д), докато в тяхното начало (фиг. Зб, г) и край (фиг. Зе) тя намалява, независимо от някои латерални вариации, предопределени от наличие на заварен локален палеорелеф (Айданлийски, 2010а, б).

Типичните за елемент ОF текстури са указание, че той се формира посредством седиментация от суспензия по време на и след наводнения, в условия на слабо подвижни или застойни води. Процесът на седиментация може да има едноактов, многоактов или непрекъснат характер. Седиментацията протича в цялата извънруслова област или само в отделни нейни участъци - временни езера или изоставени канали (речни старици). С последните се свързва образуването на разновидност ОF^(CH). В случаите, когато подобни речни старици са покрити с вода попродължително време, периодичното добавяне по време на наводнения на дребно- и финозърнест седиментен материал води до генериране на литофациес Ss (Айданлийски, 2013б).

Съществен момент при интерпретацията на този елемент е степента му на запазеност в разреза. Освен чрез директната му документация, за неговото присъствие в алувиалните отложения се съди и по формата, размера и количеството на глинестите интраформационни късове, присъстващи в повечето от русловите и извънрсловите елементи. В отделни случаи, концентрацията на подобни късове може да доведе до формиране на тела (напр. литофациес Se - Айданлийски, 2013б), указващи за значимо присъствие на този елемент през определен етап от алувиалната седиментация, седиментите на който, в последствие, са били подложен на ерозионна преработка (Фиг. 3). В условията на засушлив климат, в елемент OF могат да протекат и педогенни процеси. Картирането на продуктите от подобен тип процеси, в изолирани тела от този елемент, допринася за осигуряване на така необходимият при корелирането на алувиални последователности стратиграфски контрол (Allen, 1974; Allen and Williams, 1981, 1982).

Заключение

Изучаването на архитектурно-елементните извънруслови единици е от ключово значение за стратиграфска корелация и палеогеографската реконструкция на алувиални последователности, в които отсъстват благоприятни условия за биостратиграфска подялба, какъвто е случаят с профила на ПТГ в изследваната площ. От друга страна, ограничената им разкритост, обусловена от спецификите в литоложкия им състав. често снижава възможността те да бъдат достатъчно детайлно и обхватно документирани. Предимно с тази група архитектурни елементи е свързано и развитието на някой специфични алувиални литофациеси (напр. литофациес Р - палеопочвени прояви в автохтонна позиция, Айданлийски, 2013б), които са от съществена важност при цикло- и секвентностратиграфския анализ на кластични континентални серии (Айданлийски, 2010a).

Най-пълно развитие и съхранение на извънрусловите елементи в алувиалната част на изследваните разрези на ПТГ се установява в интервалите, генерирани в условия на съчетаване на значимо по обем акомодационно пространство и алувиална седиментация от анастомиращ тип. В подобни условия е налице съвместно развитие и запазване на всички извънруслови архитектурни единици, наложени една върху друга и/или повтарящи се няколкократно в един и същ елементарен алувиален цикъл (ЕАЦ). Показателен в тази посока е и техният дял в обема на отделните ЕАЦ, който при анастомиращ тип алувиални системи може да достигне до 65÷70% (Фиг. 2, разрези 12 и 14, долна част). Макар и да се формират и в условия на седиментация от меандриращ тип речна система, твърде ограниченото акомодационно пространство при нея води до интензивна авулсионна преработка на приповърхностните нива на алувиалната равнина, от която извънрусловите архитектурни единици са засегнати най-много (Айданлийски, 2010а, б).

Литература

- Айданлийски, Г. Циклостратиграфска подялба на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. - Год. МГУ, **53**, 1,, 2010а. - 19-26.
- Айданлийски, Г. Етапи в еволюцията на седиментационните палеообстановки при формирането на долнотриаските континентални отложения в част от Западна Стара планина. - Год. МГУ, 53, 1,, 2010б. - 7-12.
- Айданлийски, Г. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. IV. Алевритно- и пелитнодоминирани литофациеси. - Год. МГУ. 56, 1, 2013а. - 7-12.
- Айданлийски, Г. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. V. Специфични литофациеси. - Год. МГУ, 56, 1, 20136. - 13-18.
- Айданлийски, Г. Параметри на архитектурно-елементния анализ на алувиално-доминирани континентални седиментни последователности. - Год. МГУ, 57, 1, 2014а. - 26-30.
- Айданлийски, Г. Характеристика на архитектурноелементните единици в разрезите на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. I. Руслови комплекси. - Год. МГУ, 57, 1, 2014б. - 19-24.
- Айданлийски, Г., Д. Тронков, А. Щрасер. Цикличност в долнотриаската серия между ж.п. спирка Оплетня и мах. Сфражен. – В: Синьовски, Д. (ред), Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом С., Изд. В. Недков, 2004. - 90-101.
- Тронков, Д. Стратиграфия триасовой системы в части Западного Средногорья (Западная Болгария). -*Geologica Balc.*, 11, 1, 1981. - 3-20.
- Allen, J.R.L. Sedimentology of the Old Red Sandstone (Siluro-Devonian) in the Clee Hills area, Shropshire, England. – Sediment. Geol., 12, 1974. - 73-167.
- Allen, J.R.L., B.P.J. Williams. Sedimentology and stratigraphy of the Townsend Tuff Bed (Lower Old Red sandstone) in South Wales and the Welsh Borders. - J. Geol. Soc. London, 138, 1981 – 15-29.
- Allen, J.R.L., B.P.J. Williams. The architecture of an alluvial suite: rocks between the Townsend Tuff and Pickard Bay

Tuff Beds (Early Devonian), Southwest Wales. – *Phil. Trans R. Soc. Lond.*, Ser. B, 297, 1982. – 51-89.

- Friend, P. F. Towards the field classification of alluvial architecture or sequence. – In: *Modern and ancient fluvial systems*. (Eds. Collinson, J. D. and J. Lewin) IAS Spec. Publ. 6, Blackwell, 1983. – 345-354.
- Gersib, G. A., P. J. McCabe. Continental coal-bearing sediments of the Port Hood Formation (Carboniferous), Cape Linzee, Nova Scotia. – In: *Recent and ancient nonmarine depositional environments: Models for exploration.* (Eds. Ethridge, F. G. and R. M. Flores). SEPM Spec. Publ., 31, 1981. – 95-108.
- Hardie, L. A., J.P. Smoot, H. P. Eugster. Saline lakes and their deposits: a sedimentological approach. – In: *Modern and ancient lake sediments*. (Eds. Matter, A. and M. E. Tucker), IAS Spec. Publ., 2, 1978. – 7-41.
- Long, D. G. F. Proterozoic stream deposits: some problems of recognition and interpretation of ancient sandy fluvial systems. – In: *Fluvial sedimentology*, (ed Miall A. D.) Can. Soc. Petrol. Geol., Memoir 5, 1978. - 313-342.
- McKee, E. D., E. J. Crosby, H. L. Beryryhill Jr. Flood deposits, Bijou Creek, Colorado. – J. Sed. Petrol., 37, 3, 1967. - 829-851.
- Miall, A. D. A review of the braided river depositional environment. - *Earth Sci. Revs.*, 13, 1977. - 1-62.
- Miall, A. D. Principles of Sedimentary Basin Analysis. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1984. - 490 p.
- Miall, A. D. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. – *Earth Sci. Rev.*, 22, 1985. - 261-308.
- Miall, A. D. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996. - 582 p.
- Miall, A. D., M. R. Gibling. The Siluro-Devonian clastic wedge of Somerset Island, Arctic Canada, and some regional paleogeographic implications. - *Sediment. Geol.*, 21, 1978. - 85-127.
- Rust, B. R. A classification of alluvial channel systems. In: *Fluvial sedimentology* (ed Miall, A. D.) Can. Soc. Pet. Geol., Memoir 5: 1978. - 187-198.
- Schumm, S. A. Speculations concerning paleohydrologic controls of terrestrial sedimentation. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, 79, 1968. – 1573-1588.
- Schumm, S. A. *The Fluvial Systems*. Wiley and Sons, NY, 1977. 338 p.
- Sneh, A. Desert stream sequences in the Sinia Peninsula. *J. Sediment. Petrol.*, 53, 1983. 1271-1280.
- Tunbridge, I. P. Sandy high-energy flood sedimentation some criteria for recognition, with an example from the Devonian of SW England. – Sediment. Geol., 28, 1981. - 79-95.
- Tunbridge, I. P. Facies model for sandyephemeral stream and clay playa complex. The Middle Devonian Trentishoe Formation of North Devon, UK. – *Sedimentology*, 31, 1984. – 697-716.
- Williams, G. E. Flood Deposits of the Sand-Bed Ephemeral Streams of Central Australia. - Sedimentology, 17, 1971. -1-40.

Статията е рецензирана от проф. д-р Венелин Желев и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ВАРОВИКОВИТЕ КЪСОВЕ ОТ РАЗКРИТИЯ НА КАРБОНСКИ И ПЕРМСКИ СЕДИМЕНТИ В СЕВЕРОЗАПАДНА БЪЛГАРИЯ

Янаки Тенчов

Геологически институт - БАН, София, ytenchov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. В част от Северозападна България между Предбалканския разлом от север; Свогенската антиклинала от юг, от река Искър на изток до границата със Сърбия, в стефанските и пермски кластични седименти има отделни нива с карбонатни късове. Конодонтите от тези късове са с ордовишка, девонска и долнокарбонса възраст. Стефанските и пермски седименти са установени в четири ивици разкрития в Свогенската, Берковската, Михайловградската и Белоградчишката антиклинала. В ивицата от Берковската антиклинала няма варовикови късове. Блокът с Берковската, Михайловградската и Белоградчишката антиклинала се е издигнал след началото на стефана от река Искър на запад до Тимошкия разлом в Сърбия. При алпидски движения антиклиналите са оформени във възседания по разломите разделящи тези ивици.

THE LIMESTONE PEBBLES AT THE OUTCROPS OF CARBONIFEROUS AND PERMIAN SEDIMENTS AT NORWEST BULGARIA

Yanaki Tenchov

Geological Institute Bulgarian Acad.Sci., Sofia, ytenchov@abv

ABSTRACT. At a part of Northwest Bulgaria, between Fore-Balkan Fault to north, and Svoge anticline to south, from river Iskar to East and the boundary with Serbia to west, into Stephanian and Permian clastic sediments there are levels with limestone pebbles. The conodonts obtain from the pebbles are of Ordovician, Devonian, and Early Carboniferous age. The Stephanian and Permian sediments are establish in four belts in Svoge, Berkovitsa, Mihailovgrad, and Belogradchik anticlines. At the Berkovitsa anticline belt are not limestone pebbles. The block with Berkovitsa, Mihailovgrad and Belogradchik anticline gets up from river Iskar to west till Timok Fault in Serbia after the beginning of Stephanian. During the Alpid movements the faults, separating the anticlines are rework in overthurst.

Въведение

За наличието на варовикови късове с девонска фауна в състава на пермски седименти в България съобщават Алексиев и др. (1962) в сондаж РЗ Ветрино. Варовикови късове в състава на карбонски и пермски седименти от разкрития на Михайловградската, Белоградчишката и Свогенската антиклинала (фиг. 1) са отбелязвани във ведомствени доклади. Харковска и Недялкова (Московски и др. 1963) публикуваха данни за установени късове варовик в пясъчници от разкритията при с. Смоляновци и за установени конодонти в тях. Будуров (Будуров, Чунев 1964) съобщава за девонски конодонти в късове от няколко разкрития. Чунев определя петрографсксият състав на конгломератните късове. В по-късни публикации, предимно Спасов (1970) и Нган (1979), определят допълнително възрастов произход на конодонтите от вече известните и от нови находища. В тези публикации се приема, че късовете произхождат от размиване на седименти северно от находищата. Янев (1970, фиг. 1 и 2) установява транспортни посоки на пренос от юг на север за пермските седименти в 3 речни системи. Чумаченко и Шопов (1965) допускат, че подхранването с варовикови късове за разкритието над село Копиловци в Чипровска Стара планина е ставало от югозапад (Сърбия).

Конодонти, добити от късове в конгломерати, в поголямата си част са в колекции съхранени в Геологическия институт на Българската академия на науките.

Материали

Тенчов и Янев (1967) и Янев и др. (1967) в известна степен изясняват наличието на варовикови късове в едни от разкритията, а отсъствието им в други. Очертават се четири ивици в които са подредени разкритията (фиг. 1).

Резултати и дискусия

Белоградчишка антиклинала

Три разкрития, при Киряево, Белоградчик и Фалковец, съдържат карбонатни късове. В ивицата с. Киряево – Белоградчик - Фалковец подложката е от ДФК, а стокът е на изток. Релефът се е задигал до Тимочкия разсед. Западно от този разлом в негативната част в Сърбия има карбонати на Девона и Долния Карбон. Възможно е карбонатните късове да са постъпвали от юг, където Палеозоят е еродиран. Наличието на ордовишки варовици с конодонти във Фалковец (Спасов, 1970) указва за разкриването на долни части от палеозойските седименти около началото на Стефана, което сочи за значителен ерозионен срез. Ерозията на север е засягала различни части на палеозойския релеф, като до края на Перма все още е имало карбонатни седименти. Такива вече не са останали и на юг се разкрива главно ДФК.



Фиг. 1. Разкрития със стефански и пермски седименти в Северозападна България.

Белоградчишка антиклинала – разкрития: 1, 2 и 3; Михайловградска антиклинала – разкритие 4; Берковска антиклинала – разкрития 5, 6, 7, 8, 9 и 10; Свогенска антиклинала – разкрития 11 и 12.

Разкритието при с. Киряево е в бедро на моноклинала, затъващо на север под Юрата (Тенчов, Янев, 1963). Разрезът, с липси на интервали, е около 650 m. Подложката е от ДФК и участва като късове в конгломератите. В повисоките части от разреза присъстват вулканити и вулканоседиментни скали. Над тях горната част на разреза, считана за Долен Перм, е изградена главно от червени пясъчници с ниво от конгломерати, в които има късове от светли варовици и фероолитни такива. От тях са определени девонски кондонти. Транспортната посока е на изток.

Разкритията при Белоградчик са в една грабен синклинала (Тенчов, Янев, 1963) с подложка от ДФК, покрита частично от основата на триаски и юрски седименти. Дебелината на разреза е около 1000-1100 m. Долната половина е от седиментите на Стефан С, а горната от въгленосни, вулканоседиментни и седиментни скали на Долния Перм. Варовикови късове са установени в конгломератите над въглищните пластове и вулканитите в горната половина на седиментите. Те са с девонски конодонти. Транспортът е към изток, но около Фалковец повива на север.

Разкритието при Фалковец е по река Стакевска на около 100 m над моста. То е с площ само от няколко квадратни метра. Фосилната флора указва Кантабрий (Тенчов, 1973), но по-вероятно е Стефан А. В състава на варовиковите късове има железоолитни варовици, за каквито няма данни да присъстват в по-далечните области на север (сондажите при Гомотарци и Дългоделци). Наличието на фероолитни варовици има прилика с такива от Киряево и Шипченска Стара планина. Така, по-вероятно е подхранване от юг Късове вероятно са постъпвали и непосредствено от север, тъй като едрите блокове не могат да се транспортират дълго. Конодонтите от карбонатните късове са с ордовишка, ранно-, средно- и къснодевонска възраст (Спасов 1970). Това указва, че размиването на стари седименти включително ордовишки, е започнало вероятно около Стефан А, едновременно с това в Свогенската антиклинала. Основната посока на транспорт е към изток.

Михайловградска антиклинала

Разкритието около с. Смоляновци е най-голямото, с най пълен разрез на Перма (Московски и др. 1963). Подложката на север се разкрива по р. Нечинска бара и по южната страна. Тя е от ДФК. Липсата на по-млади палеозойски скали от юг може да се тълкува като активна ерозия и подхранване на Перма с варовикови късове. Установени са три нива с варовикови късове, като само от долното и средното са изследвани. Те са от девонски седименти. Над подложката следват до 80 m брекчоконгломерати с локално подхранване от подложката и от вулканичен произход. Следвашият интервал (с дебелина до 150 m) е изграден от вулканокласти, туфи, лави и варовикови конггломератни късове. Късовете са дали девонски конодонти и свидетелстват за по-далечно подхранване. вероятно от юг, където палеозойски скали липсват (авторите въпреки това, считат че подхранването е от север). Следват до 250 m червени пясъчници, които прехождат в 100 до 600 m червени алевролити. Описаните седименти се приемат за Долен Ротлигенд, т.е. долен Долен Перм. С размив над тях се разполагат от 200 до 1000 m червени седименти, предимно брекчоконгломерати. В състава им има варовикови късове с долно- и среднодевонски конодонти. Тази част е приета за Горен Ротлигенд. След размивна повърхнина следват посветло червени брекчи и пясъчници с дебелина до 400 m. Приемат се за Горен Перм (Цехщайн). Сред брекчите има и варовикови късове, но те не са изследвани за конодонти. Над тях с дискорданс следват седиментите на Долния Триас. Транспортът е към север. Тези данни указват, че ерозията на девонските седименти и такива над ДФК от юг е продължила през целия Перм.

Берковска антиклинала

В ивицата от с. Стакевци до с. Игнатица няма карбонатни късове. Южно тя граничи по разлом с ДФК и метаморфити, а на север с ДФК. Тази ивица указва за отток от запад на изток до към река Искър. При с. Игнатица седиментите са от по-грубокластична съставка и указват за пренос от изток на запад. Следователно блокът между Тимочкия разлом и река Искър е бил наклонен към изток. Източно от река Искър, релефът се задига към изток и стокът е бил на запад.

Разкритията при с. Стакевци изграждат разрез с дебелина около 2000 m (Янев, Тенчов, 1972). Той е в интервала Стефан С – Долен Перм. Добрите разкрития по реките го правят представителен за интервала. Подложката от юг е от метаморфни скали, които включват Стакевска свита (Иванов, Хайдутов, 1964). От север тя е от ДФК при алпийски тектонски усложнения. В конгломератите и брекчите не са намерени варовикови късове. От разкрития на изток, отнесени към Стакевската свита, са установени триаски конодонти (Boncheva, 1999), което отхвърля принадлежността им към Стакевската свита.

Разкритието южно от село Превала по река Левица и тези между селата Горна Лука и Железна са с късностефанска и пермска възраст (Янев, Тенчов 1976). Тези седименти са с подложка ДФК. Варовикови късове не са установени. Разкритието при с. Меляне е от горностефански и долнопермски скали (Янев, Тенчов 1978). То не съдържа данни, допринасящи към настоящето изследване. Разкритието при Озирово, според Будуров и Чунев (1964) е дало дребни варовикови късове и голям блок, който не е опробван. В разкритията при Згориград, Зверино и Игнатица не са намерени варовикови късове. Транспортната посока от Стакевци до Зверино е на изток, след което повива на север. За разкритието при Игнатица транспортът е на запад, след което повива на север и е съвместно с тази на ивицата от Стакевци до Зверино.

Свогенска антиклинала

Разкритието е южно от село Копиловци по северните склонове на Стара планина. То е от северната част на Свогенската антиклинала, а не от Берковската антиклинала. Тази антиклинала продължава на запад в Сърбия и там са въгленосните седименти на Карбона, които по разлом граничат на север с пермски седименти, достигащи под Долния Триас в България. Конгломератите на Перма съдържат варовикови късове с конодонти датиращи Девон и Късен Карбон (Нган, 1979). За тези късове (Чумаченко, Шопов, 1965) предполагат подхранване от югозапад от територията на Сърбия.

Разкритието по шосето за Лом, след разклона за Годеч, съдържа варовикови късове. Те не са дали конодонти. По река Гинска, южно от село Гинци, под Триаса, в ядката на малка антиклинала, се разкриват ордовишки седименти. Може да се допусне подхранване с варовикови късове от север.

Седиментация през палеозоя в Западна България

Преди началото на Палеозоя ерозията е разкрила метаморфни скали в Рило-Родопската, Средногорската, Свогенската, Старопланинската и Предбалканската част от България. През Протерозоя на два пъти седименти в страната ни са били метаморфозирани. Първият път около Мезопротерозоя седиментите, разкриващи се сега в Рило-Родопската област и на север от Средногорието са потъвали до нива с амфиболитов метаморфизъм, а след това са издигани до повърхността. През Неопротерозоя над тях се отлагат вулканоседиментни скали, долната част, на които е била на дълбочината на зеленошистен метаморфизъм.

През Камбрия или не по-късно от началото на Ордовика, между Рилския и Старопланинския блок и на север от последния се отлагат морски седименти на Ордовика, Силура, Девона и Долния Карбон включително до Визе. През Късен Визе се осъществява издигане поне до Старопланинската челна ивица, вероятно и на юг от нея. Морската седиментация се прекъсва и започва издигане и площна ерозия.

Около началото на Стефан А се проявява значителен разлом на запад от река Тимок, с негативна страна на запад и позитивна от изток. Около това време възникват и няколко разлома приблизително с изток-западна ориентация. Най-южният разлом е между Свогенската и Берковската (Балканската) антиклинала. Той е заложен около началото на Палеозоя и преработен през Херцинската фаза (Tenchov, 2007). Седиментацията започва през Стефан С и продължава през Перма. Източно от Тимошкия разлом се размиват ордовишки, силурски девонски и долнокарбонски седименти. Техни късове участват в стефански и пермски седименти. В Белоградчишката антиклинала трите разкрития – Киряево, Белоградчик и Фалковец съдържат карбонатни късове. Разкритието при Фалковец сочи, че размиването на стари седименти, включително ордовишки, е започнало вероятно около Стефан А, едновременно с това в Свогенската антиклинала. Основната посока на транспорт е към изток. Късове вероятно са постъпвали и непосредствено от север, тъй като едрите блокове не могат да се транспортират дълго. В състава им има железоолитни варовици, за каквито няма данни да присъстват в по-далечните области на север (сондажите при Гомотарци и Дългоделци). Така по-вероятно е подхранване от юг.

Пак преди Стефан С в Михайловградската антиклинала е оформен грабен, в който са разкритията при с. Смоляновци. Северният разлом, опиращ до ДФК, е около р. Нечинска бара и касае западната част от разкритието. От южната страна се разкрива ДФК. Посоките на подхранване са от юг (Янев, 1971 фиг. 1) (фиг. 2). Установени са варовикови късове, от девонски седименти.

Ерозията на девонските седименти и такива над ДФК от юг е продължила през целия Перм. В Берковската антиклинала това е ставало при Стакевци, Превала, селата Горна Лука и Железна, Меляне, Озирово, Згориград, Зверино и Игнатица. Тези разкрития са в един грабен, граничещ от юг с метаморфити и ДФК, а от север с ДФК.

Най-южната ивица е в Свогенската антиклинала с нейното палеозойско ядро. На север тя граничи с високи метаморфити, без данни за вида граница.

В една не много широка площ около средата на южната ивица (Свогенска антиклинала в алпийския тектонски строеж) се формира система от грабени, в които при субаерални условия от намюр А до вестфал С се отлагат над 1500 m въгленосни седименти. Последва реверсия около Стефан А, при което грабенът се издига и частично еродира. Фланговете на грабена потъват и в тях, около началото на Перма, се отлагат субаерални седименти.

Високо метаморфните скали и ДФК северно от Свогенската антиклинала са препречвали достъпа на варовикови късове от север. На юг скали от Ордовик до Вестфал С контактуват с Перма по разлом. Разкритието над с. Копиловци е изградено от Долен Перм с варовикови късове с конодонти, датиращи целия девон и долен карбон. Те са от разкрития с такива скали в Сърбия – вероятно скат на наклонен терен. На север граничат с високи метаморфити, без данни за вида граница. На юг контактуват с Ордовик, Силур, Девон и вероятен Долен Карбон по разлом. Наличието на долнокарбонски късове и реверсът от седиментация към ерозия в Свогенската антиклинала след Вестфал С, може да се разглежда за начален момент от подхранване през Стефан А с варовикови късове за региона.

Високометаморфните скали и ДФК северно от Свогенската антиклинала са препречвали достъпа на варовикови късове на север. Такива не са установени в разкритията от Берковската антиклинала. В Тетевенско разкритията на стефан-пермските скали са установени във Васильовската и Гложенската антиклинала. Чаталов и др. (1962, 1963) отнасят вулканоседиментни и седиментни скали под Долния Триас в Тетевенско към Перма. Във Васильовската планина горната им част е изградена от туфи и туфобрекчи с дебелина до 60 m. В Гложенската антиклинала сходни вулканогенни седименти са около 60-80 m. В двете разкрития под тези скали има конгломерати, брекчи, брекчоконгломерати, пясъчници и псамити с дебелина над 300 m в първото и около 500 m във второто разкритие. В последното е намерен отпечатък от фосилно иглолистно растение, определено като Lebachia cf. piniformis, както и дъждовни капки и вълниста слоистост. Нашистени диабази и филити (ДФК?) са подложка, разкриваща се само в Гложенската антиклинала.



Фиг. 2. Палеогеографска скица за част от Северозападна България. А - за Стефан С - Долен Перм; Б – около края на Долен Перм. 1- разкрития; 2 – площи, обхванати от ерозия; 3 - пролувий; 4 - безотточни площи; 5 - равнина; 6 - ? делта; 7 - ? басейн; 8 - вулкан; 9 - речен басейн; 10 - предишно речно корито; 11 - по-голямао речно русло; 12 - транспортна посока по имбрикация или коса слоистост; 13 - транспортна посока по диагонална слоистост; 14 - транспортна посока по сноповидна коса слоистост (по Янев, 1971, фиг.1).

Фосилната находка определя за долна възрастова граница горните части на Стефан С. Сравненията с разрезите на Стефана и Перма в разкритията от Северозападна България (Тенчов, 1973) насочват към Стефан С като повероятна възраст за седиментите под вулканокластичните скали, каквито обичайно са около основата и в основата на пермските седименти. В двете разкрития не са установени варовикови късове.

След Перма, с реверси в движенията, следват мезозойската и неозойската седиментации. След Ранната Креда се реализират хоризонтални движения, при които старите разседи са преработени във възседи.

Заключение

Участието на варовикови късове в стефански и пермски седименти е установено от разкрития в три от антиклиналите на Западна Стара планина – Белоградчишктта, Михайловградската и Свогенската. Наличието им може да се обвърже с блокови движения по разграничаващи разломи. При тези движения ерозия засяга позитивните крила. Началото на процеса е след обрат в посоката на движение станало около Стефан А, когато в палеозойското ядро на Свогенската антиклинала грабенът с въгленосни седименти (Намюр А - Вестфал С) се издига, а фланговете му стават площ на пермска седиментация. Подобно движение се очертава и в Белоградчишката антиклинала при реверс след Стефан А. когато се отлагат седиментите при Фалков мост. Ерозията засяга седименти от Ордовика до Ранния Карбон от южната част Свогенската (в Сърбия) антиклинала и нейното северно бедро. Съществено е влиянието от издигане на площта от река Искър на запад до Тимошкия разлом. До Тимошкия разлом няма запазени палеозойски седименти, но след него се разкриват седименти, включително на Долния Карбон. Блокът от р. Искър до този разлом се е издигал наклонено. При р. Искър в пермските седименти има гранити и метаморфити, които са сравними с тези от планината Рила. След с. Курило такива късове и блокове също има в Перма по река Тайна (1 km на север от с. Курило). Едно понижаване по р. Искър възниква след Вестфал С, тъй като оттокът на реките през карбона се реализира от изток на запад, включително през Искърското дефиле. На изток от река Искър, по данните от Тетевенската антиклинала и от сондаж Ветрино-3, размиване на палеозойски седименти засяга по-широка област.

Тези движения сочат за изостатична динамика в площта през Карбона и Перма. Съвременният облик на възсядания на север на антиклиналите е оформен след алпидски движения насочени на север.

Литература

- Алексиев, Б., Е. Трифонова, Н. Гноевая. Петро-графска характеристика и възраст на конгломератните късове от сондаж Р-3 при с. Ветрино. Год. Соф. унив., биол.геол.-геогр. ф-т; 55, 2, 1962. - 269-282.
- Будуров, К., Д. Чунев. Конодонтна фауна и петрографска характеристика на варовиковите късове в младопалеозойските брекчоконгломерати от Северозападна България. – Изе. НИГИ, т. 16, 1964. - 247-265.
- Иванов, Ж., И. Хайдутов. Структура на Стакевския плутон и неговата метаморфна мантия. – Изв. Геол. инст., 13, 1964. - 181-214.
- Московски, Ст., С. Недялкова, Я. Тенчов, А. Харковска, В. Шопов, С. Янев. Стратиграфски и литоложки проучвания в ядката и част от мантията на Михайловградската антиклинала между реките Чупренска и Риковска бара (СЗ България). - *Труд. Геол. България, сер. Стратигр., тект., 5*; 1963. - 29-67.
- Нган, Фам Кин Конодонтната фауна на варовиковите късове включени в младопалеозойските конгломерати от Северозападна България. – С., Автореферат, 1979. - 22 с.
- Спасов, Х. Конодонти от варовиковите късове на карбонския конгломерат при Фалковец (Северозападна България). – Сп. Бълг. геол. д-во, 31, 2, 1970. - 177-186.
- Тенчов, Я. Стратиграфия на стефан-пермските фосилоносни седименти в Северозападна България. - Изв. Геол. инст., сер. Стратигр., литол., 22, 1973. - 55-72.
- Тенчов, Я., С. Янев. Стратиграфия и литология на горния стефан и перма при Белоградчик и с. Киряево (СЗ България). - *Труд. Геол. България, сер. Стратигр., тект.,* 5, 1963. - 69 - 97.
- Тенчов, Я., С. Янев. Герцинское заложение карпатобалканской дуги (по данным каменоугольных и пермских пород). – Карпато-Балканская геологическая ассоциация, 8-ми Конгрес. Доклады. Геотектоника 1967. - 193-199.

- Чаталов, Г., П. Ганев, С. Стефанов. Бележки върху перма във Васильовската антиклинала (Тетевенско). – *Труд. Геол. България, стратигр. тект. 4,* 1962. - 1-37.
- Чаталов, Г., М. Ганев, С. Стефанов. Стар палеозой и перм в ядката на Гложенската антиклинала, Тетвенско. – *Труд. Геол. България, стратигр. Тект. 5,* 1963. - 17-27.
- Чумаченко, П., В. Шопов. Перм в Чипровска Стара планина. – Сп. Бълг. геол. д-во, 26, 3, 1965. - 360-366.
- Янев, С. Палеогеография на Северозападна България през младия палеозой. – Сп. Бълг. геол. д-во, 31, 2, 1970. - 197-208.
- Янев, С. Строеж на младопалеозойските комплекси в Северозападна България. - Изе. Геол. инст., сер. Стратигр., литол., 20, 1971. - 111-132.
- Янев, С., Я. Тенчов, Х. Спасов. О провинциях, питающих каменноугольно-пермское осадконакопление в Западной Стара планине. - КГБА, 8 Конгр., Палеогеография, 1967. - 489-493.
- Янев, С., Я. Тенчов. Стратиграфия и литология на стефанпермските скали при с. Стакевци, Видинско. -*Изв. Геол.* инст., сер. Стратигр., литол., 21, 1972. - 19-39.
- Янев, С., Я. Тенчов. Литология и стратиграфия на младопалеозойските седименти между реките Лом и Чипровска. - Палеонтол., стратигр. литол., 5, 1976. - 61-79.
- Янев, С., Я. Тенчов. Стефан-пермските скали при селата Згориград, Зверино и Игнатица, Северозападна България. - Палеонтол., стратигр. литол., 9, 1978. - 3-26.
- Boncheva, I. Conodont data on the age of a part of the sediments in the scope of the Stakevci Formation (North-western Bulgaria) *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, *60*, 1-3, 1999. 25-28.
- Tenchov, Y. The Carboniferous of Svoge Coalfield (Bulgaria). -Geologica Balc., 36, 1-2, 2007. - 5-15.

Статията е рецензирана от проф. дгн Димитър Синьовски и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

СКАЛНО РАЗНООБРАЗИЕ И ЛЕДНИКОВИ ФОРМИ В РАЙОНА НА ГЕОТОП СЕДЕМТЕ РИЛСКИ ЕЗЕРА

Илиана Цветкова, Димитър Синьовски

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, tsvetkova.iliyana@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Геотоп Седемте рилски езера е важна част от геоложкото разнообразие на България. Геоконсервационната стойност на района се изразява в добре оформените ледникови образувания, част от които са езерата, и разнообразните магмени и метаморфни скали, разкриващи се на територията на природната забележителност. Те са представени главно от биотитови и амфибол-биотитови гнайси, серпентинизирани ултрабазити с метагабра, слюдени шисти и гранат-кианитови шисти от Рупчоския метаморфен комплекс и аплитоидно-пегматитоидни гранити от Рило-Западнородопския батолит. Главните ледникови форми са циркусите, морените и ледниковата долина, оформена от движението на леденика. Срещат се и други по-малки ледникови форми като овчи гърбици и ератични късове. Районът на геотопа представлява стъпаловиден циркус, съставен от каскадно разположени по-малки циркуси. Вследствие на ледниковата дейност са образувани лимноглациални отложения – чакъли, валуни и блокове от гранитоиди и неравномерно разпределени пясъци и пясъци и плини.

ROCK DIVERSITY AND GLACIAL FORMS IN GEOSITE SEVEN RILA LAKES

Iliyana Tsvetkova, Dimitar Sinnyovsky

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, tsvetkova.iliyana@gmail.com

ABSTRACT. Geosite Seven Rila Lakes is an essential part of the geological diversity of Bulgaria. Geoconservation value of the site is in the well developed glacial formations, part of which are the lakes, and the various igneous and metamorphic rocks, cropping out in the area of the natural landmark. They are represented mainly by biotite and amphibole-biotite gneiss, serpentinized ultrabasite with metagabbro, mica schist and granate-kyanite schist of the Rupchos metamorphic complex and the aplite-pegmatite granite of the Rila-West Rhodopean batholith. Main glacial forms are represented by circues, moraines and glacial valley, formed by the movement of the glacier. Smaller glacial formations like roche mountonnée and glacial erratics are also encountered. Geosite area is a tiered circue composed of cascade located smaller cirques. After the glacial activity fluvial-glacial deposits are formed – gravels, boulders and granite blocks with uneven amount of sand and clay.

Въведение

Рила планина притежава забележително геоложко и геоморфоложко разнообразие. Широкият спектър от скални разновидности включва разнообразни магмени и метаморфни скали. Магмените скали са представени главно от гранитоидите на Рило-Западнородопския батолит, чиято възраст е определена на 40-35 Ма (Катепоv et al., 1999). Метаморфните скали са представени от биотитови и амфибол-биотитови гнайси, серпентинизирани ултрабазити с метагабра, слюдени шисти и гранат-кианитови шисти от Чепеларските пъстри метаморфити, принадлежащи към Рупчоската група (Кожухаров, 1984) или Рупчоския метаморфен комплекс (Sinnyovsky, 2014).

В минераложко отношение Рила предлага богата гама от минерали, свързани с магмените и метаморфни процеси. В геотоп Седемте рилски езера се намират уникални за България гранати и скаполити. Други минерали, характерни за района на Седемте рилски езера са биотит, амфибол, серпентин, гросулар, томсонит, илменит, кварц, пренит, талк, титанит, хематит, хлорит, хромит, цоизит, шеелит, шпинел, графит, рутил и др. (Петрусенко, в Кралева, Петру-

сенко, 2013).

В геоморфоложко отношение интерес представляват ледниковите образувания, които са променили изцяло облика на планината през кватернерните заледявания. Тук са развити почти всички известни на науката ледникови форми: циркуси, ледникови долини, висящи долини, морени, пирамидални върхове и др. (Sinnyovsky, 2015).

Именно формите на релефа, образувани в резултат от ледниковата дейност, придават на геотоп Седемте рилски езера огромно геоконсервационно значение. Релефът в района се нуждае от подробно изучаване, тъй като няма почти никакви данни за ледниковата дейност. Това ще допринесе за опазването на тези феноменални за България и Балканите форми и включването им като добре характеризиран геотоп в рамките на бъдещия Геопарк Рила.

Литературен обзор

Данни за скалното разнообразие в района на Седемте рилски езера могат да се намерят в много публикации, по-

светени на метаморфните и магмени скали в района (Димитрова, 1960; Желязкова-Панайотова и др., 1972 а,б; Ермолаев и др., 1977; Каменов и др.1979; Вълков, 1980ф; Вылков и др., 1989; Маринова, 1991, 1993; Димов, Дамянова, 1996; Шипкова, 1998; Саров, 2009). В обобщен вид данните за геоложкия строеж на района присъстват в обяснителната записка на к. л. Сапарева баня от геоложката карта на Република България в М 1:50 000 (Саров и др., 2011). Магмените скали от Рило-Западнородопския батолит са характеризирани при геоложко картиране в М 1:25 000 (Вълков и др., 1977ф, 1980ф, 1981ф, Вылков и др. 1989).



Фиг. 1. Сателитно изображение на геотоп Седемте рилски езера

На геоложката карта на България в М 1:100 000 (Маринова, 1991, 1993) метаморфитите са отнесени към Чепеларската пъстра свита на Рупчоската група, въведена от Иванов и др. (1980) и дефинирана от Кожухаров (1984). Саров и др. (2011) ги отнасят към т. нар. Мальовишка литотектонска единица. Sinnyovsky (2014, 2015) ги разглежда в светлината на предложения от Хрисчев и др. (2005) подход за характеризиране на метаморфните единици, разработен за нуждите на картировката на Република България в М 1:50 000 - Чепеларски пъстри метаморфити от Рупчоския метаморфен комплекс.

Ледниковите форми не са били обект на специални научни изследвания. В обяснителната записка на к. л. Сапарева баня са описани само лимноглациалните отложения (Саров и др. 2011). Част от ледниковите образувания са характеризирани от Синьовски (2014) и Sinnyovsky (2014, 2015). Данни за дълбочината и надморската височина на езерата, както и за скалното разнообразие се съдържат в статията на Sinnyovsky (2015).

Минералното разнообразие и гемоложко наследство са засегнати в обяснителната записка на картен лист Сапарева баня (Саров и др. 2011), а Петрусенко (в Кралева, Петрусенко, 2013) описва и фигурира характерните минерали в района. Данни за флората, фауната и първите документирани сведения за Седемте рилски езера могат да се намерят в работата на Вълканов (1966).

Скално разнообразие

В района на геотоп Седемте рилски езера (фиг. 1) се на-

блюдават разкрития на метаморфни и магмени скали, както и лимноглациални отложения (фиг. 2).

Геоложка карта на геотоп Седемте рилски езера



Фиг. 2. Геоложка карта на Геотоп Седемте рилски езера в М 1:12 000, по Саров и др. (2011)



Фиг. 3. Разкритие на пегматоидно-аплитоидни гранити по западния бряг на Долното езеро

Долното и Рибното езеро са в магмени скали от Рило-Западнородопския батолит. Това са пегматоидноаплитоидни гранити, които се простират между в. Мальовица и Седемте рилски езера, наречени още Мальовишко тяло (Вълков и др., 1977ф, 1980ф, 1981ф, Вылков и др., 1989) (фиг. 3). Отнесени са към последната четвърта фаза от внедряването на батолита.

Гранитите са неравномерно зърнести, левкократни и имат масивна текстура, а структурата им варира от хипидиоморфнозърнеста до аплитова и пегматитова. Минералният състав на гранитите е представен от кварц, плагиоклаз и калиев фелдшпат, а съдържанието на биотит и мусковит е под 5% (Саров и др., 2011).

От метаморфните скали най-разпространени са неопротерозойските биотитови и амфибол-биотитови гнайси на Чепеларските пъстри метаморфити от Рупчоския метаморфен комплекс. Скалите са дребно до средно зърнести, мезократни, с ясна шистозна текстура (фиг. 4). Изградени са от плагиоклаз, кварц, биотит, магнетит, гранат, мусковит. Акцесорни минерали са епидот, титанит, апатит, рутил, циркон и руден минерал.



Фиг. 4. Амфибол-биотитови гнайси от Чепеларските пъстри метаморфити на Рупчоския метаморфен копмплекс

Серпентинизирани ултрабазити се разкриват при езерото Трилистника, на 2225 m н.в. Телата са лещовидно изтеглени, едрозърнести. Разкритието представлява ледникова форма известна като roche moutonnée (фиг. 5). По западния бряг на Трилистника се разкриват пегматоидно-аплитоидни гранити.



Фиг. 5. Разкритие на серпентинизирани ултрабазити при Трилистника, под формата на roche moutonnée

На 2282 m надморска височина, при езерото Бъбрека, разкритията на амфибол-биотитови гнайси се допълват от ератични късове от гранат-кианитови слюдени шисти, чиито минерален състав е представен от кварц, мусковит, биотит, гранат, хлорит, кианит, ставролит и др., а структурата е лепидогранобластична (Колчева, Чернева, 1999). По южния бряг на езерото се разкриват и мраморна прослойка с дебелина 5-6 m.

Между Окото и Сълзата на 2440-2535 m надморска височина се разкриват амфибол-биотитови гнайси и метагабра. Метагабрата са милонитизирани, с потъваща стръмно на запад фолиация. Скалите са черно-зеленикави, с ивичеста, на места масивна текстура, а структурата е габроофитова (Саров и др., 2011).

Лимноглациалните отложения в района на Седемте рилски езера са чакъли, валуни и блокове от гранитоиди, метаморфити и неравномерно разпределени пясъци и глини.

Ледникови форми

Глациалните образувания у нас са слабо изучени и описани. Най-общи данни за ледниковите форми в Рила има в публикацията на Синьовски (2014), а конкретно за района на Седемте рилски езера Sinnyovsky (2015) дава кратки сведения за тяхната площ, дълбочина и надморска височина. През Вюрмското заледяване (70 000 - 11 000 хил. г.), в България ледниците са се образували над 2200 m надморска височина, каквито условия са съществували само в Рила и Пирин. Дейността на ледниците е променила изцяло релефа на тези планини, образувайки дълбоко врязани ледникови долини, захранвани от стотици циркуси. Основните ледникови форми в изследвания район са циркуси, морени, овчи гърбици и ледниковата долина на р. Джерман. Районът на геотопа представлява стъпаловиден циркус, съставен е от каскадно разположени по-малки циркуси.



Фиг. 6. Най-ниският циркус от геотоп Седемте рилски езера - Долното езеро

Циркусите са вдлъбнати форми с амфитеатрална форма, оформени в началото на ледниковите долини, в района на подхранване на ледниците. Всяко едно от седемте езера представлява тарн (от англ. tarn) – ледниково езеро, образувано в циркус. Седемте езера представляват каскадни циркуси (paternoster lakes), свързани са помеджу си и преливащи едно в друго с малки поточета. Както подсказва и името на геотопа, разглежданите каскадни езера са седем на брой. Те се намират на надморска височина от 2095 m до 2535 m. Най-ниското езеро е Долното езеро (фиг. 6), на 2095 m н.в., с дълбочина 11 m и площ 0,059 km². То е разположено изцяло сред лютеските гранитоиди на Рило-Западнородопския батолит.

Следващо езеро в каскадата е Рибното езеро (фиг. 7), на 2184 m н.в. Това е най-плиткото от седемте езера, с дълбочина едва 2,5 m, а площта му е 0,035 km². То също е в гранитоидите на Рило-Западнородопския батолит.



Фиг. 7. Рибното езеро

Езерото Трилистника (фиг. 8), което е на 2225 m надморска височина, е с дълбочина 6,5 m и площ 0,026 km². Георазнообразието при това езеро се предопределя от разкритията на метаморфитите на Рупчоския метаморфен комплекс и се допълва от впечатляващата ледникова форма – roche moutonnée, изградена от серпентинизирани ултрабазити.



Фиг. 9. Езеро Близнака е оформено в два съединени циркуса



Фиг. 10. Бъбрека



Фиг. 8. Трилистника

Езерото Близнака е разположено на 2243 m н. в. (фиг. 9). Това е най-голямото по площ езеро на територията на геотопа, съставено от два съединени циркуса, с площ от 0,091 km², а дълбочината му е 27,5 m.

Следващото езеро - Бъбрека (фиг. 10) се намира на 2282 m н.в. То е с дълбочина 28 m и площ 0,085 km². Тук скалното разнообразие се предопределя от разкритията на Чепеларските пъстри метаморфити. На източния бряг на езерото има ератичен къс от гранат-кианитови слюдени шисти, а по стръмния южен бряг на циркуса се разкриват мрамори (фиг. 12).



Фиг. 11. Ератичен къс от гранат-кианитови шисти от Чепеларските пъстри метаморфити на източния бряг на Бъбрека

Следващото езеро е Окото, известно и под името Сърцето, разположено е на 2440 m н.в. (фиг. 13). Това е най-дълбокото ледниково езеро на Балканите – 37,7 m, а площта му е 0,068 km². Формата му наподобява очен ирис.

Най високото, но и най-малко по площ е Сълзата (Горното езеро) (фиг. 14). То е на 2535 m надморска височина, дълбочината му е 4,5 m, а площта му е 0,007 km². Наименованието му идва от кристално чистата вода.



Фиг. 12. Разкритие на мрамори от Чепеларските пъстри метаморфити по стръмния южен склон на циркуса Бъбрека



Фиг. 13. Окото



Фиг. 14. Сълзата

Освен живописните циркусови езера, в района на Геотоп Седемте рилски езера, се срещат и морени, които представляват струпвания на скални блокове по долините, преместени от движението на ледника. Тези глациални форми са особено характерни за Рила планина.

По долините на реките, които текат около Седемте рилски езера, на запад – река Скакавица, на изток – река Джерман и река Прав Искър и на югозапад – река Бистрица, се наблюдават глациални U-образни долини, оформени от преминаването на ледниците. Повечето от тях в долната си част сега са с V-образни форми, вследствие на по-късната речна дейност. Типични за местността са ератичните късове (фиг. 15). По принцип те представляват скални блокове, различни по състав от коренните скали, транспортирани от ледниците далеч от коренните им разкрития и останали на място след растопяването на леда. Подобни късове могат да се транспортират на стотици километри. В случая транспортът е кратък и те понякога не се различават много от коренните скали.



Фиг. 15. Ератичен къс, по пътеката от лифта към Долното езеро

Ледниковата форма Roche moutonnée на източния бряг на езеро Трилистника (фиг. 5,8) е удължено възвишение, оформено от ледника в коренните скали, представени от серпентинизирани ултрабазити. В превод от френски означава овча скала, а английският термин е sheep back – овчи гръб.

Заключение

Районът на Геотоп Седемте рилски езера впечатлява със скалното и минераложкото си разнообразие. В района се срещат разнообразни метаморфни и магмени скали, както и редки минерали. Особено голям интерес за геоконсервацията са ледниковите форми. За да се използват за нуждите на бъдещия геопарк, те се нуждаят от класифициране и подробно описание. Геотопът е найпосещаваният природен популярен не само от български, но и от чуждестранни туристи. Това налага по-сериозни мерки за консервирането на скалните разкрития и релефните форми, образувани от дейността на ледниците. В бъдещите консервационни мерки трябва да се включи разработването на диплянки и информационни табла на поне три езика, в които да присъстват данни за геоложката история и образуването на ледниковите форми на достъпен за широката публика език.

Литература

- Бонев, С. Петрусенко, Д. Сираков. Метаморфни и магмени скали от Мальовишкия дял на Рила и свързаните с тях орудявания. – Год. Соф. Унив., Геол-геогр. Фак., 71, 1, Геология; 1979. - 179-219.
- Вълканов, А. Бележки върху живота на нашите високопланински езера. 1966. *Тр. Бълг. прир.-изп. д-во, 15-16,* 207-225.

- Вылков, В., Н. Антонова, К. Дончева. Гранитоиды Рило-Западно-Родопского батолита. – *Geologica Balc., 19, 2*; 1989. - 21-54.
- Димитрова, Е. Петрология на кристалинния цокъл в Северозападна Рила. – *Тр. геол. Бълг., Сер. геохим. и пол. изкоп., 1;* 1960. - 199-257.
- Димов, Д., Дамянова, К. Синметаморфни тектонски единици в Северозападна Рила. Сп. Бълг. геол. д-во, 57, 2, 1996. - 25-30.
- Ермолаев, В., Р. Арнаудова, Е. Димитрова. Строение и развитии кристалического цокаля Рилы. *Geologica Balc.*, 7, 3, 1977. 87-103.
- Желязкова-Панайотова, М., З. Илиев, С. Петрусенко. Нови данни върху геологията на района на Седемте рилски езера. – Сп. Бълг. геол. д-во, 33, 2, 1972а. - 133-176.
- Желязкова-Панайотова, М., С. Петрусенко, З. Илиев. Минералогия на редкометалните скарни от Седемте рилски езера. – Год. СУ, ГГФ, 64, 1; 19726. - 147-176.
- Иванов, Ж., С. Московски, К. Колчева. Литостратиграфическое расчленение метаморфических пород автохтонного комплекса в Центральных Родопах, между верхним течением р. Чепеларской и долной р. Вычи. – *Gelologica Balc., 10,* 3, 1980. - 3-30.
- Каменов, Б., М. Желязкова-Панайотова, З. Илиев, И. Бонев, С. Петрусенко, Д. Сираков. Метаморфни и магмени скали от Мальовишкия дял на Рила и свързаните с тях орудявания. –Год Соф. Унив., Геол-геогр. фак, 71,1-Геология; 1979. - 179-219.
- Кожухаров, Д. Литостратиграфия докембрийских метаморфических пород Родопской супергруппы в Центральных Родопах. *Geologica Balc., 14,* 1; 1984. 43-88
- Колчева, К., З. Чернева. Метаморфна еволюция на метапелити от Северозападна Рила. *Геохим., минерал. и петрол.,* 36; 1999. 45-66.
- Кралева, М., С. Петрусенко. Езикът на природата рилските минерали. – *Вълшебството на Рила,* 2013. -131-174.
- Маринова, Р. Геоложка карта на България. М 1:100 000. К. л. Благоевград. КГ, Предпр. за геофиз. проучв и геол. карт., 1991.
- Маринова, Р. Обянителна записка към геоложката карта на България. М 1:100 000. К. л. Благоевград; КГМР, Геол. и геофизика АД, 1993. – 68 с.
- Саров, С., 2009. Литотектонска подялба на метаморфните скали от Западна и Северозападна Рила. Нац. Конф. Бълг. геол. д-во, 1993. 89-90.
- Саров, С., С. Московски, Т. Железарски, Е. Войнова, Д. Николов, И. Георгиева, Н. Марков, К. Колчева, Д. Иванов. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-71-Б (Сапарева Баня).

С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 2011. - 52 с.

Синьовски, Д., Потенциалът на Северна Рила като геопарк.

– Год. МГУ "Св. Иван Рилски", 57, I, 2014. - 13-18.

- Хрисчев, Х., В. Ангелов, М. Антонов. Терминология и номенклатура на неслоестите литостратиграфски единици при геоложкото картиране в М 1:50 000 на Западния Предбалкан. – Сп. Бълг. геол. д-во, 66, 1-3, 2005. - 171-175.
- Шипкова, К. Синметаморфни деформации в Северозападна Рила. Автореферат. С. 1998. - 27 с.
- Kamenov, B., I. Peycheva, L. Klain, K. Arsova, Y. Kostitsin, E. Salnikova. Rila-West Rhodopes batholith: Petrological and geochemical constraints for its composite character. *Geochem., mineral., petrol.*, 36 Sofia; 1999. - 3-27.
- Kozhoukharov, D., E. Kozhoukharova, V. Vergilov, I. Zagorchev. On the lithostratigraphic grouping of the Precambrian of Bulgaria. – *PICG, Precambrian des zones mobiles de l'Europe Conf. Liblice* 1972; 1974. - 233-240.
- Sinnyovsky, D. Geodiversity of Rila Mountain, Bulgaria. XX Congress of the Carpathian Balkan Geological Association, Tirana, Albania, 24-26 September 2014, 2014. - p. 307.
- Sinnyovsky, D. Wurm glacier formations and mountain landscapes in Rila Mountain, Bulgaria. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, Albena, Bulgaria, 18-24 June, 2015. - 529-536.

Фондови материали

- Вълков, В., Н. Вълкова, Л. Мартинов, Л. Михайлова, Н. Петков, Г. Братованов, И. Ковачки, М. Халилов, Р. Маринова, М. Димитрова. Доклад за геоложкия строеж и търсенето на полезни изкопаеми на части от Рила планина, Западни родопи и Разложката котловина между гр. Якоруда, с. Баня и Големи Мечи връх (Геоложко картиране в М 1:25 000, извършено през 1974 - 1975 г.). – Национален фонд МОСВ, 1977. - IV-289.
- Вълков, В., И. Ковачки, Н. Петков, Р. Маринова, Д. Сираков, Л. Топалов, С. Саров, Н. Антова. Доклад за геоложкия строеж и търсенето на полезни изкопаеми на части от Рила планина и долината на р. Струма между гр. Кочериново и вр. Мусала. – Геофонд МОСВ, 1980. - IV-321.
- Вълков, В., И. Костов, Д. Сираков, Р. Маринова, С. Саров, Л. Топалев, И. Климов, Н. Ван Куанг, П. Николов. Доклад за геоложкия строеж и полезните изкопаеми на Рила планина. Геоложко доизучаване в М 1:50 000, извършено през 1980 г. – Геофонд МОСВ, 1981. - IV-326.

Статията е рецензирана от доц. д-р Иван Димитров и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ЛЕДНИКОВИ ФОРМИ И ОТЛОЖЕНИЯ В РАЙОНА НА РИБНИТЕ ЕЗЕРА В ПРИРОДЕН ПАРК "РИЛСКИ МАНАСТИР"

Надежда Атанасова, Димитър Синьовски

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, atanasova.nadezhda@gmail.com, sinsky@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Рила е най-високата планина на Балканите, представляваща част от Рило-Родопския масив. Тя е куполообразна блоково-разломна планина, изградена предимно от докамбрийски метаморфити, кредни и палеогенски гранитоиди. Нейното геоложко развитие през Неозоя се предопределя от оформянето на блокови структури, а съвременният алпийски релеф се оформя от проявата на серия от заледявания. По време на последното Вюрмско заледяване, долната граница на ледниците е била на около 2200 m надморска височина, над която те коренно променят съществуващия релеф, издълбават дълбоки циркуси и ледникови долини, оформят пирамидални планински върхове и оставят след себе си много моренни отложения. Ледниковите езера, разположени между 2000 и 2700 m надморска височина, са сред най-забележителните останки от кватернерните заледявания. Едни от най-атрактивните и трудно достъпни циркусови езера в Рила са Рибните езера в горната част на р. Манастирска. Богатството на заобикалящия ги разнообразен ландшафт - висящи долини, циркусов, гребени и пирамидални върхове, ги прави един от най-атрактивните геотопи в Рила, сравним по красота и великолепие единствено със Седемте Рилски езера. Смрадливото езеро е най-голямото ледниково езеро на Балканите, а околните върхове Рилеца, Канарата и Йосифица са едни от най-високите в Рила. Рибните езера се намират на територият на природен парк "Рилски манастир", който в миналото е бил част от Национален парк Рила. Днес той представлява самостоятелна защитена територия, в центъра на която се намира най-знаковият обект на българскот културно и историческо наследство - Рилският манастир, включен в Листата на Световното културно наследство на ЮНЕСКО с на 1 бълещик Геопарк Рила, който има за цел да обедини природното, културно и духовно наследство на региона.

Ключови думи: Рила планина, ледникови форми, ледникови езера

GLACIAL FORMATIONS AND DEPOSITS IN THE AREA OF THE FISH LAKES IN RILA MONASTERY NATURAL PARK Nadezhda Atanasova, Dimitar Synnyovsky

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail (10-point, italic)

ABSTRACT. Rila is the highest mountain in the Balkans. It is part of Rila-Rhodopean Massive. Rila is a dome block-fault mountain, built mostly of Precambrian metamorphic rocks, Cretaceous and Paleogene granitoids. Its geological development in the Cenozoic is determined by the formation of block structures. The contemporary alpine landscape is shaped by the occurrence of a series of Quaternary glaciations. During the last Würm glaciation, the lower limit of the glaciers was about 2200 m altitude, above which they radically alter the existing landscape, carving out deep cirques and glacial valleys, pyramid shaped mountain peaks and leave behind many moraine deposits. Glacial lakes, located between 2,000 and 2,700 m elevation are among the most remarkable relicts of the Quaternary glaciations. Among the most attractive and difficult to access cirques lakes in Rila are the Fish Lakes. They are situated in the upper part of Manastirska River. The wealth of the surrounding varied landscape - hanging valleys, cirques, ridges and pyramidal peaks, makes them one of the most attractive geotopes in Rila comparable by their beauty and grandeur only with the Seven Rila's Lakes. Stinking lake is the largest glacial lake in the Balkans and surrounding peaks Rilets, The Rock and Yosifitsa are among the highest peaks in Rila. Fish lakes are located on the territory of the park "Rila Monastery", which in the past was part of the Rila National Park. Today it is a separate protected area in the center of which is the most significant site of the Bulgarian cultural and historical heritage - the Rila National Park. Today it is a separate protected area in the center of which is the most significant site of the Bulgarian cultural and historical heritage - the Rila Natesery, included in UNESCO World Heritage List with more than 1 million visitors annually. Current research on glacial forms and deposits in the area of Fish Lakes are a contribution to the development of the future Geopark Rila, that aims to unite the natural, cultural

Key words: Rila mountain, glacial formations, glacial lakes

Въведение

Рила е най-високата планина на Балканите, представляваща част от Рило-Родопския масив. Тя е куполообразна блоково-разломна планина, изградена предимно от докамбрийски метаморфити, кредни и палеогенски гранитоиди. Нейното геоложко развитие през Неозоя се предопределя от оформянето на блокови структури, а съвременният релеф се оформя от проявата на серия от заледявания. Алпийският релеф на Рила е формиран значително по-късно – през кватернерните заледявания. Тогава долната снежната линия е била на около 2200 m надморска височина. Над тази височина ледниците са променили коренно съществуващия дотогава релеф, като са образували дълбоки циркуси, пирамидални върхове, скални зъбери, трогови и висящи долини и са оставили след себе си много моренни отложения. Ледниковите езера, разположени между 2000 и 2700 m надморска височина, са сред най-забележителните останки от кватернерните заледявания. Едни от найатрактивните циркусови езера в Рила са Рибните езера в горната част на р. Манастирска, сравними по красота и великолепие единствено със Седемте Рилски езера. Те се намират в централния дял на Рила, ограничен от долините на реките Рилска, Илийна и Бели Искър. Той съставлявя 9 % от цялата площ на Рила със средна надморска височина 2077 m. От долината на река Рилска дялът се разделя на Северно (Скакавишко) и Южно (Рилешко) било. Северното било включва Скакавишкия дял с много добре изразени циркусни форми (най-висок връх - Голям Скакавец - 2706 m) и два по-малки дяла - Маринковски (с най-висок вр. Прогледец - 2691 m) и Шишковски (с вр. Йосифица - 2697 m).

Най-впечатляващите ледникови образувания в района на Рибните езера са U-образната ледникова долина на р. Крива (горното течение на Манастирска река), Маринковския циркус, циркусите на двете Рибни езера, Смрадливото езеро и Черното езеро, моренните материали по склоновете на циркусите и една чудесно оформена висяща долина, разположена източно от главната ледникова долина (фиг. 1).



Фиг. 1. Сателитно изображение на района на Рибните езера в горното течение на Манастирска река

Рибните езера се намират на територията на природен парк "Рилски манастир", който в миналото е бил част от Национален парк Рила. Днес той представлява самостоятелна защитена територия, в центъра на която се намира най-знаковият обект на българското културно и историческо наследство - Рилският манастир, включен в Листата на Световното културно наследство на ЮНЕСКО с над 1 милион посетители годишно. Настоящите изследвания на ледниковите форми и отложения в района на Рибните езера са принос към разработването на бъдещия Геопарк Рила, който има за цел да обедини природното, културно и духовно наследство на региона.

Геоложка изученост

Специализирани геоложки изследвания на района не са правени. Първите по-конкретни данни за геоложкия строеж са от геоложката картировка в М 1:25 000 и 1:100 000, извършени съответно през петдесетте и осемдесетте години на миналия век.

Метаморфните скали са отнасяни към различни метаморфни единици. На Геложката карта на България в М 1:100 000, к. л. Благоевград, Маринова (1991, 1993) ги отнася към Рупчоската група на Родопската надгрупа с протерозойска възраст. Саров (2009), Саров и др. (2011) ги поделят на три литотектонски единици – Мальовишка, Огражденска и Верилска. Sinnyovsky (2014, 2015) разглежда метаморфните единици в района съгласно препоръките на Хрисчев и др. (2005) и отнася тези скали към Рупчоски метаморфен комплекс. По време на геоложката картировка в М 1:50 000 (Саров и др., 2011) на картен лист К-34-71-Г (Рилски манастир) в района на Рибните езера са установени разкрития на средно до дребнозърнести биотитови гранити и мусковит-биотитови плагиогранити от Рило-Западнородопския батолит.

В района се разкрива малка част от Мальовишката единица или Рупчоския метаморфен комплекс. Скалите изграждат метаморфната рамка на Калинския гранит и западната част на Рило-Западнородопсия батолит. Това са биотитови и амфибол-биотитови гнайси, слюдени шисти с гранат и кианит, мрамори, метагабра с флазерна текстура, лещи от метаеклогити и серпентинизирани ултрабазити и аплитоидни метагранити. По литоложкия си състав се характеризира като меланж от метаседименти и метаофиолити. Контактите на гранитите от Рило-Западнородопския батолит със скалите на Мальовишката единица са ясно интрузивни. Наблюдават се в района на Рилския манастир и Кирилова поляна, вр. Рилец.

Скалното разнообразие в района на Рибните езера е бедно, поради еднообразния състав на скалите. В геоложкия строеж важна роля имат гранитоидите на Рило-Западнородопския батолит, разглеждани като "южнобългарски гранити" (Димитров. 1939). Дискусията относно тези гранити" е отразена в трудовете на Бояджиев (1963); Дабовски, (1968); Димитрова и др. (1975); Арнаудов и др. (1969); Вылков и др. (1989). Първоначално те са отнасяни към къснопалеозойските южнобългарски гранитоиди. На Геоложката карта на Република Бъгария в М 1:50 000 възрастта на батолита е подмладена до Късна Креда – Еоцен (Саров и др., 2011). Той също включва доста богата гама от магмени разновидности като биотитови, мусковитбиотитови и амфибол-биотитови гранити, аплитоиднопегматоидни гранити, порфирни гранити, мусковитбиотитови плагиогранити, порфирни и амфибол-биотитови гранодиорити, кварцдиорити и др. (Димитрова и др., 1975). Ермолаев и др. (1977) приемат гранитите като единно тяло с еднаква възраст на отделните разновидности, а петрографските различия обясняват с влиянието на вместващите метаморфни скали и контаминацията на магмата.

В района на Рибните езера се разкриват западните части на Рило-Западнородопския батолит, представен от средно до едрозърнести биотитови гранити, отнесени от Вылков и др. (1989) към втората фаза от внедряването на Рило-Западнородопския батолит с възраст 35-40 Ма и мусковит-биотитови плагиогранити от третата фаза. Вторите се разкриват в долината на Манастирска река (Манастирско тяло) и в най-източния край на разглежданата територия (западните части Семковското тяло). В района на Рибните езера се наблюдават множество ксенолити от биотитови гранити. Според Саров и др. (2011) на запад от контакта с метаморфитите от Мальовишката единица има ксенолити от гнайси, ориентирани паралелно на фолиацията. а R екзоконтактната зона се наблюдава мигматизация и гранитизация. Северно от Манастирска река има апофизи от аплитоидно-пегматоидни гранити. В северните склонове на Манастирска река се разкриват деформирани части на батолита. Основното тяло от тези скали се разкрива на север в долините на р. Мальовишка и Преките реки. Те са изградени от калиев фелдшпат, плагиоклаз, кварц, биотит и акцесорни минерали (апатит, циркон, аланит, титаномагнетит). В зависимост от степента на деформация текстурата е очна, очноивичеста или ивичеста. Тези милонити са описвани по различни начини порфиробластични мигматити, гранитогнайси или гнайсгранити.

Ледникови форми

Основните ледникови форми в района са ледниковите долини, циркусите и езерата образувани в тях. Между циркусите са оформени впечатляващи скални гребени от типа arête. По склоновете на някои от главните ледниковите долини има странични висящи долини, пресечени от главния ледник (Бели Искър, Марица, Дупнишка Бистрица, Рилска река), които се намират на 100 до 400 m над речното русло на главната ледникова долина.

Циркуси

Циркусите обикновено са разположени в изворните области на реките, на места и върху долинните им склонове, оградени с почти отвесни скали. Дълбоките части на циркусите са заети от езера. Най-много езера се срещат на надморска височина 2400 – 2600 m, главно по северните склонове на Рила.



Фиг. 2. Горното Рибно езеро

В района на Рибните езера, северно от вододела между р. Манастирска и р. Илийна, се наблюдават пет добре оформени циркуса. Най-източният от тях - Маринковският циркус, който граничи по хребета Маринковица с водосборния район на р. Бели Искър, е наименуван в настоящата работа на извиращата от него р. Маринковица, и Маринковското езеро с надморска височина 2300 m дълбочина 2 m. Той е с широчина 1,5 km и дълбочина 280 т като дава началото на 3,5 km дълга висяща долина, описана по-долу.



Фиг. 3. Долното Рибно езеро

Циркусът на Рибните езера в горната си част е широк 1,84 km, а дължината му е 2,7 km. Горното Рибно езеро (фиг. 2) е разположено на надморска височина 2227 m в дъното на циркуса и се подхранва от десетина малки притока от всички страни, които пресъхват в края на лятото. Формата на езерото е продълговата с по-тясна и по-плитка южна част и по-широка и по-дълбока северна. Максималната дълбочина е 9 m, а площта на водната повърхност е 14,99 ha. Максималната денивелация между него и най-високата точка на южния му гребен (arête) – вр. Канарата (2666,3 m) е 426 m.

Долното Рибно езеро (фиг. 3) е с надморска височина 2200 m, максимална дълбочина 9 m и площ 4,7 ha. То се намира на 400 m северно от Горното Рибно езеро. Денивелацията между Долното Рибно езеро и найвисоката кота на източния му гребен вр. Йосифица (2696,5 m) е 496 m. Долното Рибно езеро се оттича на север и дава началото на р. Манастирска.



Фиг. 4. Южният склон на Смрадливото езеро представлява арет, който е вододел между басейните на р. Манастирска и р. Илийна

Смрадливото езеро (фиг. 4) е разположено на надморска височина 2298 m в голям висящ циркус с широчина 1,55 km и дължина 2 km, отворен на север към Крива река. С площта си от 24 ha то е най-голямото ледниково езеро в България и на Балканите. Дълбочината му е 24 m, а денивелацията с най-високия връх по западния му ръб Рилец (2712,7 m) – 416 m. Околните върхове Рилеца, Канарата и Йосифица са едни от найвисоките в Рила.

Черното езеро с надморска височина 2361,7 m се намира във висящ циркус, заграден от изток от хребета делящ го от циркуса на Смрадливото езеро. Този хребет се спуска на север от връх Рилец и след върховата му точка има превал с маркировката от каменни пирамиди, по които се слиза на Смрадливото езеро. Хребетът продължава на север и завършва със стръмен клеков склон, но преди това отделя на запад било, което загражда Черното езеро от юг и запад и го отделя от Дяволския циркус. Езерото е с дълбочина 16 m и площ около 4,8 ha. Намира се на 416 m над руслото на р. Манастирска, като на 160 m под него има по-малък, слабо изразен циркус без езеро. На височина около 2100 m по пътеката към езерото се разкрива най-старата тераса с плиоценска възраст (около 3 млн. години).

На запад циркусите на Смрадливото и Черното езеро граничат с обширен циркус, в който са запазени четири помалки езера, най-голямото от които е Джендема. Изходът на този циркус към долината на р. Манастирска представлява висяща долина, чието устие е издигнато на 300 m над нея.



Фиг. 5. Сателитно изображение на висящата долина на р. Маринковица, североизточно от Рибните езера



Фиг. 6. Фотография на висящата долина на р. Маринковица североизточно от Рибните езера

Ледникови долини

Най-голямата ледникова долина в Рила планина по р. Рилска е издълбана от огромен глетчер, образуван от ледниците по долините на р. Манастирска и р. Илийна. В района на река Илийна се срещат циркуси с неясни очертания, почти заличени от ерозията по стръмните склонове, а висящи долини липсват. В изследвания район долината на р. Манастирска е известна под името Крива река, а в най-горната си част на 1,2 km непосредствено под Долното Рибно езеро тя се нарича Кьоравица. Долината на р. Манастирска е типична U-образна ледникова долина, започваща от циркуса на Горното и Долното Рибно езеро, който е със стръмни склонове, покрити с груб и необработен моренен материал от гранитови валуни. В участъка на р. Кьоравица максималната дълбочина е 400 m, а десният склон става по-полегат заради вливащата се в нея висяща долина на р. Маринковица. Надолу по течението дъното се разширява, но склоновете остават стръмни и дълбочината й постепенно нараства до над 600 m.

Висящата долина по р. Маринковица е с U-образен напречен профил и дъгообразна форма, изпъкнала на север (фиг. 5,6). Тя води началото си от добре изразен циркус, в центъра на който е разположено Маринковското езеро на 3,5 km източно от края на висящата долина. Висящата долина се влива в основната ледникова долина на Манастирска река, която започва от циркуса на Горното и Долното Рибно езеро. В най-стръмната си горна част, известна под наименованието Кьоравица, в продължение на 0.5 km непосредствено под Долното Рибно езеро и при денивелация от 60 m. тя протича в моренен материал. изграден от ръбати гранитови късове. След това в участък с дължина 4 km между Горен и Долен Говедарник, известен като Крива река, дъното на долината се разширява, а струпванията от моренни късове остават високо по склоновете. Целият южен склон под Смрадливото езеро, разположено на 300 m над руслото на Крива река, е покрит с ръбати валунни късове от страничната морена на главния ледник на Манастиска река.

Скални гребени (арети)

От южната страна на циркуса "Маринковица" се намира циркусът на Канарското езеро, от който води началото си р. Бели искър. От северната и източната страна са разположени три циркуса с незначителни безименни езера, също отворени към р. Бели Искър. Между въпросната висяща долина и тези циркуси са оформени класически остри скални гребени от типа arête, които се образуват между съседни циркуси или съседни глетчери, каквито в случая са глетчерът на р. Бели Искър и глетчерът на р. Манастирска.

По време на заледяването тези ръбове се заострят допълнително от глациалното изветряне, а след разтопяването на ледниците те дълго запазват острата си форма заради ерозията на отслабените от заледяването склонове. Вследствие на значителната загуба на скален материал при склоновата ерозия, наклонът от двете им страни се запазва стръмен. Вследствие дейността на циркусите, част от скалите по склоновете са превърнати в моренен материал, който постепенно се изнася надолу по течението на реките. В средата на склоновете на циркусите са запазени странични морени, изградени от ръбати валунни късове. Типичен арет представлява и скалният гребен образуван по южния склон на Смрадливото езеро, който служи като вододел между басейните на р. Манастирска и р. Илийна (фиг. 4).



Фиг. 7. Странични морени образувани по склоновете на циркуса на Рибните езера

Морени

Моренните материали са ръбати и несортирани, представени главно от блокове и валуни. Блоковете се срещат по-рядко и са полуръбести или полузаоблени. Валуните, които преобладават, са добре заоблени до полузаоблени. Те са изградени от мусковит-биотитови плагиогранити, средно- до дребнозърнести биотитови гранити и променени гранити с лютеска възраст от Рило-Западнородопския батолит. Тяхното разпространение е свързано със склоновете на циркусите и ледниковите долини, където след стопяването на ледниците е останал много несортиран материал от страничните морени (фиг. 7). Морените се срещат на височина от 1100 до над 2100 m. Най-ниско са по долините на р. Бели Искър, Рилска река и Марица, а най-високо (над 2100 m) – около циркусните езера.



Фиг. 8. Дръмлини в долината на р. Манастирска

Разновидност на морените са т. нар. дръмлини, представляващи овални хълмове, удължени по посока на движението на ледника. Те се срещат по дъното на ледниковата долина на р. Манастирска и са изградени предимно от валуни с чакълен и песъчлив матрикс (фиг. 8).



Фиг. 9. Ератичен къс в района на Долното Рибно езеро

В циркусите и ледниковите долини често се срещат ератични късове. В района на рибните езера, където коренните скали са представени от биотитови гранити и мусковит биотитови плагиогранити, се срещат ератични късове от променени гранити, гранитогнайси и дори мрамори с размери от десетки сантиметри до няколко метра (фиг. 9).

Заключение

Рибните езера са един от най-впечатляващите геотопи в Природен парк Рилски манастир. Образувани по интересен начин, като резултат от топене на ледниците, те впечатляват с невероятните си форми и глациалните отложения. Макар и трудно достъпни, те привличат много туристи изследователи. Рибните езера и са забележителен геоморфоложки обект, който при подходящо администриране в плана за развитие на Природен парк Рилски манастир и бъдещите планове на потенциалния Геопарк Рила, би могъл да се превърне в обект с международно значение. За тази цел трябва да се разработят геопътеки с информационни табла на достъпен за широката публика език, в които да присъства информация за техния произход. Изучаването на ледниковите форми в района на Природен парк Рилски манастир и тяхното популяризиране би допринесло за развитието на геотуризма в района и разработването на бъдещия геопарк Рила.

Литература

- Арнаудов, В., Б. Амов, М. Павлова. Върху абсолютната геоложка възраст на някои пегматити от Южна България. – Изв. ГИ, сер. Геохим.,минер. и петрогр., 18; 1969. - 19-26.
- Бояджиев, С. По въпроса за възрастта на Южнобългарските гранити. – Сп. Бълг. геол. д-во, 24, 2; 1963. - 155-164.
- Вылков, В., Н. Антова, К. Дончева. Гранитоиды Рило-Западно-Родопского батолита. – *Geologica Balc., 19, 2*; 1989. - 21-54.
- Дабовски, Х. Формация на южнобългарските гранитоиди. В: Цанков, В., Ред. Стратиграфия на България, 1968. - 124-134.
- Димитров, С., Постижения и задачи на петрографските изучвания у нас. Год. на СУ, ФМФ, 35, 3. 1939. -
- Димитрова, Е., Д. Бахнева, Б. Маврудчиев, Б. Каменов, Й. Янев. Магматические формации Болгарии. – *Geologica Balc.*, 5, 1, 1975. - 52-63.
- Ермолаев, В., Р. Арнаудова, Е. Димитрова. Строение и развитии кристалического цокаля Рилы. *Geologica Balc.*, 7, 3, 1977. 87-103.
- Маринова, Р. Обяснителна записка към геоложката карта на България. М 1:100 000. К. л. Благоевград; КГМР, Геол. и геофизика АД, 1991. – 68 с.
- Синьовски, Д. Потенциалът на Северна Рила като геопарк. – Год. МГУ "Св. Иван Рилски", 57, I, 2014. - 13-18.
- Саров, С., Литотектонска подялба на метаморфните скали от Западна и Северозападна Рила. – Нац. Конф. Бълг. геол. д-во, 2009. - 89-90.

- Саров, С., Е. Войнова, Д. Николов, И. Георгиева, В. Вълев, Н. Марков. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-71-Г (Рилски манастир). С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 2011. - 39 с.
- Хрисчев, Х., В. Ангелов, М. Антонов. Терминология и номенклатура на неслоестите литостратиграфски единици при геоложкото картиране в М 1:50 000 на Западния Предбалкан. – Сп. Бълг. геол. д-во, 66, 1-3, 2005. - 171-175.
- Sinnyovsky, D. Geodiversity of Rila Mountain, Bulgaria. XX Congress of the Carpathian Balkan Geological Association, Tirana, Albania, 24-26 September 2014, p. 307.
- Sinnyovsky, D, Wurm glacier formations and mountain landscapes in Rila mountain, Bulgaria. 15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, Albena, Bulgaria, 18-24 June, 2015. - 529-536.

Статията е рецензирана от доц. д-р Валери Сачански и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ГЕОТОП "НОС КЮПРИЯ", ГР. ПРИМОРСКО, БУРГАСКА ОБЛАСТ

Борис Вълчев, Венелин Желев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, b_valchev@mgu.bg,vjjelev@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Настоящата статия представя резултатите от изследването на геоконсервационното значение на геотопа "Нос Кюприя" (наименованието се предлага тук), намиращ се в източната част на гр. Приморско, Бургаска област. Той не е описван като геоложки феномен и не фигурира в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в България", както и в Държавния регистър на природните забележителности. Включва морския бряг в района на едноименния нос и представлява ивица от разкрития с обща дължина 1,05 km, започваща на 300 m изток-североизточно от пристанището на гр. Приморско и завършваща в непосредствена близост до южния край на плажа "Приморско-северен" ("Стомопло-Перла"). Оформен е в скалите на горнокредната вулканогенна Живизлийска свита и предлага отлична възможност да се наблюдават уникални по своята запазеност пилоу-лави с алкално трахитов (българитов) състав и придружаващите ги хиалокластити. Геотопът е поделен на 15 участъка според петроложките особености на скалите и морфологията на пилоу-лавите. В геоморфоложки аспект, бреговата линия в рамките на геотопа представлява ясно изразен клифов участък с височина между 6 (при нос Кюприя) и 11 m, увеличаваща се постепенно на запад. Съгласно класификацията на геоложките феномени, геотопът "Нос Кюприя" попада в групата на обектите с научна (клас вулканоложки) и естетическа (клас геоморфоложки) стойност, а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени, той е с регионално значение. Популяризирането на геотопа ще повиши общата му експертна оценка, добавяйки към доселашната му жарактеристика изследователна стойност.

"KYUPRIYA CAPE" GEOTOPE, TOWN OF PRIMORSKO, BOURGAS DISTRICT

Boris Valchev, Venelin Jelev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. The present article represents the results from investigation of the geoconservation value of "Kyupriya Cape" geotope (the name is proposed here), located in the eastern part of the Town of Primorsko, Bourgas District. It has not been described yet as geological phenomenon and it is not included in the "Register and cadaster of the geological Phenomena of republic of Bulgaria" as well as in the StateRegister of Natural Sites. The geotope comprises the seacoast in the area of Kyupriya Cape and represents a band of outcrops with total length of 1.05 km, which begins 300 m east-northeast of Primorsko Port and ends nearthe southern end of the "Primorsko North"beach ("Stomoplo-Perla"). It is formed in the rocks of the Upper Cretaceous volcanogenic ZhivizliyaFormation and gives a good opportunity for observation of uniquely preserved alkaline trachyte (bulgarie) pillow-lavasas sociated with hyaloclastites. The geotope is sublivided into 15 sectors according to the petrologic features of the rocks and the pillow-lavas'morphology. In geomorphological aspect, the seacoast comprises a well-formed cliff area, varying between 6 (around the Kyupriya Cape) and 11 m in height, increasing gradually to the west. According to the classification of the original Bulgarian methodology geotope is referred to the geosites of scientific (volcanological class) and aesthetic (geomorphologic class) value, and according to the original Bulgarian methodology present characteristics investigational and educational value.

Въведение

В поредица от статии (Желев и др., 2012; Желев, Вълчев, 2013, 2014) са представени данни за състоянието на редица палеовулканоложкии геоморфоложки обекти (съществуващи в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в Република България", както и някои невключени в него и неописани като геоложки феномени фиг. 1), разкриващи се по бреговата ивица южно от гр. Бургас, в подкрепа на идеята за превръщането на Южното Черноморие в геопарк по палеовулканология. Съществуващата геоложка информация е обогатена значително с предложените от Георгиев, Балканска (2014) геоложки маршрути по крайбрежието на Природен парк "Странджа", както и с данните от анализа на геоконсервационното значение на всички дюнни ансамбли по Черноморското крайбрежие,между гр. Бургас и устието на р. Резовска (Вълчев, 2015).

Настоящата статия представя резултатите от наблюденията върху един геоложки феномен, останал досега встрани от дискусията за българското геоложко наследство - геотопът "Нос Кюприя" (наименованието се предлага тук), намиращ се в източната част на гр. Приморско (фиг. 1, 2). Той включва големи и представителни разкрития на лавови потоци от къснокредния Росенски палеовулкан, със специфичен петрохимичен състав (българити) и кълбовидна текстура (пилоу-лави). Досега не е описван като геоложки феномен, не фигурира в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в Република България", както и в Държавния регистър на природните забележителности.

Данни за геоложкия строеж на района

Стратиграфия

В района на изследването се разкриват горнокредни вулканогенни скали, неогенски морски седименти и кватернерни континентални (езерно-блатни) и морски наслаги (фиг. 2).



Фиг. 1. Описани геоложки феномени по Черноморското крайбрежие южно от гр. Бургас

1 – геотопи с досие в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в България": 1 - "Червенка", 2 - "Колокита", 3 - "Нос Агалина", 4 -"Лъвската глава", 5 - "Маслен нос, 6 - "Устието на р. Велека", 7 -"Силистар"; 2 - геотопи, описани след създаването на Регистъра (Желев, Вълчев, 2013): 1 - "п-в Малкия Бурун", 2 - "Бегликташ", 3 -"Веселата скала"; 3 – геоложки маршрути по крайбрежието на Природен парк "Странджа" (Георгиев, Балканска, 2014); 4 – дюнни ансамбли с досие в Регистъра: 1 – "Градина", 2 – "Каваците", 3 – "Алелу", 4 – "Стомопло-Перла", 5 – "Приморско-южен"; 5 – дюнни ансамбли, описани след създаването на Регистъра (Вълчев, 2015): 1 – "Харманите", 2 – "Аркутино" и устието на р. Ропотамо, 3 – "Китен-северен", 4 – "Китен-южен", 5 – "Къмпинг Юг" и "Корал", "Лозенец-централен", 6 – "Оазис", 7 – "Араля", 8 – "Нестинарка", 9 – Ахтопол, 10 – устието на р. Велека, 11 – "Бутямята" и "Липите", 12 – "Силистар"; 6 – местоположение на геотопа "Нос Кюприя"

Горнокредната серия представена е от Живизлийската свита (Петрова и др., 1980, 1995), която е включена в състава на Бургаската група с кониасраннокампанска възраст (Петрова и др., 1980; Петрова, Симеонов. 1989). Разкрива се на ограничена плош по крайбрежието в източната част на гр. Приморско.Тук тя е изградена от пилоу-лави с алкалнотрахитов (българитов) състав и придружаващите гихиалокластити. Подробно макроскопско и микроскопско описание на петроложките особености на двете скални разновидности е направено от Банушев (2002). В района на гр. Приморско долната граница на свитата не се разкрива. Вулканогенните скали

се покриват несъгласно от седиментите на Галатската свита.

Неогенската система включва Галатската свита (Попов, Коюмджиева, 1987), скалите, на която са образувани в Кримо-Кавказкия басейн, заливал тази част от крайбрежната ивица през Миоценската епоха. Представена е от оолитни и детритусни варовици, варовити и песъчливи глини, разнозърнести пясъчници и пясъци, с редки лещи от конгломерати. В района единицата се разполага трансгресивно и дискордантно върху Живизлийската свита и се покрива частично от кватернерни (холоценски) наслаги. Дебелината й е до 70 m, а възрастта й е определена като Тархан-Конк с богата фауна (Гочев, 1935; Страшимиров, 1961; Коюмджиева, Попов, 1985). Разкрива се на широка площ западно и северозападно от Приморско.





Кватернер (1-2): 1 – морски седименти на ниската (Новочерноморска) тераса (пясъци и глини); 2 – езерно-блатни наслаги (пясъци, глини, торф); 3 – Неоген: Галатска свита (Тархан-Конк; пясъчници, варовици, глини); 4 – Горна Креда: Живизлийска свита (алкалнотрахитови пилоу-лави и хиалокластити); 5 – геоложка граница; 6 – местоположение на геотопа

Кватернерът в района е представен само от холоценски наслаги, поделени на два литогенетични типа (Петрова и др., 1995): езерно-блатни и морски седименти.

Езерно-блатните наслаги се разкриват в устието на р. Дяволска (южно от Приморско), което е превърнато в лиман, както и около блатото Стомопло (северозападно от Приморско). Те включват фини пясъци, песъчливи глини и глини, богати на овъглен растителен детритус. На места се установяват и тънки чакълни прослойки. Морските наслаги се разкриват в двете плажни ивици северно и южно от Приморско. Те се отнасят към ниската (Новочерноморска) тераса. Представени са от пясъци, богати на черупков детритус.

Тектоника

Районът на геотопа "Нос Кюприя" попада в найюгоизточната част на Росенския палеовулкан (фиг. 3), който се намира в обхвата на Ямболско-Бургаския вулкано-интрузивен район (Василев и др., 2009) и Източносредногорската единица (Дабовски, Загорчев, 2009). В геоморфоложки аспект той е част от югоизточната периферия на Бургаската кръгова морфоструктура (Спиридонов, 1999).



Фиг. 3. Схема за строежа на Росенския палеовулкан (по Станишева-Василева, Василев, 1981, Василев и др., 1984ф; Харковска и др., 1989)

1 – резургентна калдера; 2 – пръстеновидна интрузия (Росенски плутон); 3 – външна част (сома); 4 – местоположение на изследвания район

Характеристика на геотопа

Геотопът "Нос Кюприя", включващ морския бряг в района на едноименния нос, представлява ивица от разкрития с обща дължина 1,05 km, започваща на 300m изтоксевероизточно от пристанището на гр. Приморско (фиг. 4) и завършваща в непосредствена близост до южния край на плаж "Приморско-северен" ("Стомопло-Перла"). Тя е оформена в скалите на Живизлийската свита и може да бъде разделена на 15 участъка според петроложките особености на скалите и морфологията на пилоу-лавите. В геоморфоложки аспект бреговата линия в рамките на геотопа представлява ясно изразен клифов участък с височина между 6 (при нос Кюприя) и 11 m, увеличаваща се постепенно на запад. Участък 1, намиращ се на 300 m ИСИ от пристанището на гр. Приморско, представлява малко разкритие в горната част на клифа, с дължина 7-8 m и височина 2-3 m, в което се наблюдават светлосивобежови до сивобели песъчливи глини, варовити пясъчници и детритусни варовици (табл. l, сн. 1) от най-долните нива на Галатската свита. Разположеният на изток закрит участък (участък 2 на фиг.4) с дължина 45 m, не позволява да се наблюдава контактът между Галатската и Живизлийската свита.

Участък 3 (дължина 30 m) представя неясно оформени, силно изветрели пилоу-лави (табл. I, сн. 2), разкриващи се в основата на клифа. Те се наблюдават в надлъжен пререз, в който дължината им не надхвърля 2 m. На изток следва закрит участък (участък 4 на фиг. 4) с дължина 66 m.



Фиг. 4. Местоположение на участъците в рамките на геотопа "Нос Кюприя"

1, 15 – разкрития на Галатската свита; 2, 4 – закрити участъци; 5, 7-9, 11, 12, 14 - разкрития на пилоу-лави; 6, 10 - разкрития на хиалокластити; 13 - разкритие на хиалокластити и пилоу-лави

В началото на участък 5 (дължина 90 m) се наблюдава изолиран блок от хиалокластити с дължина 6 m и ширина 3 m (табл. l, cн. 3). В него, освен късовете черно вулканско стъкло, които са с разнообразна форма (овални, удължени или с неправилна форма- табл. l, cн. 4), се срещат и късове от алкални трахити (овални до кръгли в напречно сечение - табл. l, cн. 5). Около късовете от вулканско стъкло се забелязва солево кавернозно изветряне (табл. l, сн. 6). В останалата си част участъкът предоставя възможност за наблюдаване на пилоу-лави предимно в надлъжен пререз и с различни размери (табл. l, cн. 7). В североизточната част на участъка се намира една от найедрите "възглавници" в рамките на геотопа – дължина 6 m и ширина 2,5 m (табл. l, cн. 8).

Участьк 6 (дължина 10 m) е изграден от хиалокластити. Характерно е присъствието на късове и блокове от трахити (табл. I, сн. 9, 10) с розов или зеленикав оттенък, като последните са обхванати от вулканско стъкло.

Участъците 7, 8 и 9 представят пилоу-лави. Участък 7 (дължина 125 m) е неравномерно разкрит. В него пилоулавите са предимно в надлъжен пререз (табл. I, сн. 11), като най-големите от тях достигат до 2 m дължина. В североизточния край на участъка се наблюдава тясна тектонизирана зона (табл. I, сн. 12). Следващият участък 8 (дължина 65 m), намиращ се в района на нос Кюприя, представя лави с различна форма и размери (табл. I, сн. 13), а в *участък* 9 (дължина 65 m) се наблюдават много добре разкрити пилоу-лави (табл. I, сн. 14) с кръгъл до овален напречен пререз (най-едрите са с размери 5х2m).

Участьк 10 (дължина 12 m) представлява разкритие на хиалокластити (табл. I, сн. 15). Късовете са представени изцяло от черно вулканско стъкло.

Участьк 11, представляващ непрекъснато разкритие с дължина 108m, включва най-добре оформените и найатрактивни пилоу-лави. Тук те се наблюдават изключително в кръгли или овални напречни прерези (табл. II, сн. 1-3), като диаметърът им не надхвърля 1,5 m.

Следващият участък 12 (дължина 97m) е изграден от пилоу-лави с различни размери, като най-характерният белег е липсата на прерези (табл. II, сн. 4, 5). Това позволява наблюдаването на цели пилоу-лави, включително и "обвивката" им от вулканско стъкло.

Участък 13 (дължина 145 m) представя незакономерно редуване на пилоу-лави и хиалокластити (табл. II, сн. 6-12) с преобладаване на последните. В тях късовете от трахити преобладават количествено над тези от черно вулканско стъкло.

В участък 14 (дължина 30 m)брегът е разкрит само в основата на клифа (табл. II, сн. 13), където се наблюдават изветрели и напукани пилоу-лави с овална форма и размери 2,5х1,5 m.

Участък 15 представлява неравномерно разкрита ивица (дължина 150 m), в която се проследяват седиментите на Галатската свита, завършваща в южния край на плаж "Приморско-северен" ("Стомопло-Перла"). В източния край на участъка е образувано свлачище (табл. II, сн. 14) с дължина на откоса 30 m, в резултат на което не е възможно да се наблюдава контактът между Галатската и Живизлийската свита.

Достъпността до геотопа – едно от най-важните изисквания за получаването на висока експертна оценка на неговия геотуристически потенциал, е отлична, за което допринася изградената от община Приморско през последното десетилетие (завършена през 2013 г.) обходна крайбрежна алея (табл. II, сн. 15). От една страна, тя осигурява защита на клифовия бряг от морската абразия, а от друга - предоставя отлични възможности за наблюдаване и изучаване на петроложките И морфоложките особености на скалите. Съгласно класификацията на геоложките феномени геотопът "Нос Кюприя" попада в групата на обектите с висока научна (клас вулканоложки) и естетическа (клас геоморфоложки) стойност, а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени (Синьовски и др., 2002) той е с регионално значение.

Заключение

Предложеното в настоящата статия описание на геотопа "Нос Кюприя" се вписва по естествен начин в

характеристиката на палеовулканоложките феномени, оформени в продуктите на Росенската вулкано-интрузивна постройка, добавяйки последни щрихи към общата представа за тях. В този смисъл, то се явява и естествен завършек на полагането на геоложката основа на един геопарк по палеовулканология, включващ бъдещ черноморското крайбрежие между гр. Бургас и устието на р. Резовска. Ефузивните скали на Живизлийската свита, в които е оформен геотопът, са устойчиви на въздействието на екзогенните процеси и това предполага неговото продължително съществуване. С цел по-широкото му популяризиране е необходимо поставянето на информационни табла с геоложка информация, тъй като в момента такива липсват. Допълнително предимство би било и разработването на илюстриран интерпретативен геоложки маршрут. Популяризирането на геотопа ще повиши общата му експертна оценка, добавяйки към досегашната му характеристика изследователска и образователна стойност.

Районът на гр. Приморско съчетава по естествен начин разнообразни биотопи (блатата Стомопло и Дяволско, лиманното устие на р. Дяволска), геотопи ("Маслен нос", "Бегликташ", "Веселата скала", забележителните пясъчни дюни от плажовете "Стомопло-Перла" и "Приморскоюжен"), както и археологически обекти (тракийското мегалитно светилище "Бегликташ", крепостта "Урдовиза" в близкия гр. Китен). Това съчетание, заедно с добрите транспортни комуникации, създава отлични предпоставки за увеличаване на геотуристическия потенциал на района.

Литература

- Банушев, Б. Нови данни за горнокредните субаквалнивулканити от южното черноморско крайбрежие. *Минно дело и геология, 7-8*, 2002. 34-40.
- Василев, Е., Х. Дабовски, Б. Каменов. Ямболско-Бургаски вулкано-интрузивен район. – В: Загорчев, И., Х. Дабовски, Т. Николов (ред.), *Геология на България. Том II, Мезозойска геология*. С., Акад. изд. "Проф. Марин Дринов", 2009. - 496-519.
- Василев, Л., Г. Станишева-Василева, А. Харковска, Х. Дабовски, П. Лилов. 1984. Структурно, петроложко и металогенно изследване на къснокреден магмен апарат от централен тип. Росенскипалеовулкан. Геофондна ГИ на БАН, 167 с., 4 картни приложения.
- Вълчев, Б. 2015. Пясъчни дюни по Българското черноморско крайбрежие южно от гр. Бургас състояние и геоконсервационно значение. *Сп. Бълг. геол. д*-во, 76, 1, 35-57.
- Георгиев, С., Е. Балканска. 2014. Геоложки маршрути по Черноморското крайбрежие на Природен парк "Странджа". Дирекция на Природен парк "Странджа", Малко Търново, 100 с.
- Гочев, П. 1935. Находка на средномиоценски наслаги югоизточно от Бургас.- Сп. Бълг. геол. д-во, 7, 3, 253-255.
- Дабовски, Х., И. Загорчев. 2009. Алпийска тектонска подялба на България. – В: Загорчев, И., Х. Дабовски, Т. Николов (ред.), *Геология на България. Том II*,

Мезозойска геология. С., Акад. изд. "Проф. Марин Дринов", 30-37.

- Желев, В., Б. Вълчев, К. Кършева, Д. Съчков. 2012. Геотопите "Устието на река Велека" и "Силистар" – основа на един естествен геопарк по палеовулканология.- *Год. МГУ,* 55, св. I – Геол. и геофиз., 21-29.
- Желев, В., Б. Вълчев. 2013. Геоложки феномени в района на резервата "Ропотамо", Бургаска област. – *Год. МГУ*, 56, св. I – Геол. и геофиз., 109-118.
- Желев, В., Б. Вълчев. 2014. Геоложки феномени в района на Созопол и Черноморец – състояние и перспективи. – Год. МГУ, 57, св. I – Геол. и геофиз., 39-46.
- Коюмджиева, Е., Н. Попов. 1985. Объем и подразделение караганского яруса (средний миоцен) Восточного Паратетиса.- *Geol. Balc.*, *15*, 1, 75-82.
- Петрова, А., Е. Василев, Л. Михайлова, А. Симеонов, Е. Челебиев. 1980. Литостратиграфия части верхнего мела в Бургаском районе.- *Geol. Balc.*, *10*, 4, 23-67.
- Петрова, А., Х. Дабовски, Л. Михайлова, С. Савов, Г. Чаталов. 1995. Обяснителна записка към геоложката карта на България в М 1:100000 (картен лист Царево, н. Силистар, Малко Търново, Резово). КГМР, "Геология и геофизика" АД, 67 с.
- Петрова, А., Х. Дабовски, С. Савов, Г. Чаталов. 1992. Геоложка карта на България в М 1:100000 (картен лист Царево, н. Силистар, Малко Търново, Резово). КГМР, ПГПГК.

- Петрова, А., А. Симеонов. 1989. Нови данни за литостратиграфията на горната креда в Източното Средногорие.- Сп. Бълг. геол. д-во, 50, 3, 6-14.
- Попов, Н., Е. Коюмджиева. 1987. Миоценът в Североизточна България (литостратиграфска подялба и геоложко значение).- Сп. Бълг. геол. д-во, 48, 3, 15-33.
- Синьовски, Д., В. Желев, М. Антонов, С. Джуранов, З. Илиев, Д. Вангелов, Г. Айданлийски, П. Петров, Х. Василев. 2002. Метод за оценка на геоложки феномени. – В: *II Международна конференция SGEM, Варна, Сб. доклади*, 25-33.
- Спиридонов, Х. 1999. *Кръгови морфоструктури в Средногорието*. С., Акад. издателство "Проф. Марин Дринов", 270 с.
- Станишева-Василева, Г., Л. Василев. 1981. Росенското рудно поле – възможен модел за централен тип вулканска структура и неговото металогенно значение. – *Рудодобив,* 36, 2; 1-6.
- Страшимиров, Б. 1961. Нови данни за наличието на среден миоцен южно от гр. Бургас. Год. ВМГИ, 7, 37-45.
- Харковска, А., Г. Станишева-Василева, Х. Дабовски. 1989. Росенский палеовулкан. – В: Альпийский магматизм Средногории и Восточных Родоп и связанная с ним металогения (путеводитель екскурсии), XIV конгр. КБГА, София, 49-61.

Статията е рецензирана от доц. д-р Иван Димитров и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ТАБЛИЦА І



1 – разкритие на Галатската свита на 300 m ИСИ от пристанището на гр. Приморско; 2 – неясно оформени, силно изветрели пилоу-лави от участък 3; 3-6 – блок от хиалокластити в западния край на участък 5 (3 - общ изглед, 4-6 – детайли: 4 – къс от черно вулканско стъкло, 5 – къс от алкален трахит, 6 –солевокавернозно изветряне около къс от черно вулканско стъкло); 7 –пилоу-лави от участък 5; 8–"възглавница" с дължина 6 m и ширина 2.5 m в североизточната част на участък 5; 9–хиалокластити от участък 6; 10 – къс от алкален трахит в състава на хиалокластитите от участък 6; 11 – пилоу-лави от участък 7; 12 – тектонизирана зона сред пилоу-лавите в СИ край на същия участък; 13 –силно удължени "възглавници" при нос Кюприя (участък 8); 14 –добре оформени пилоу-лави непосредствено западно от нос Кюприя (участък 9); 15 – общ изглед на разкритие на хиалокластити (участък 10)

ТАБЛИЦА ІІ



1-3-участък 11, представящ най-добре оформените пилоу-лави в рамките на геотопа (1 – общ изглед, 2, 3 – детайли); 4, 5-разкритие на пилоулави (участък 12), в което могат да се наблюдават "обвивките" на отделните "възглавници" (4 – общ изглед, 5 – фрагмент); 6-12-участък 13 (6 – общ изглед, поглед от изток, 7, 8 – хиалокластити, изградени от късове черно вулканско стъкло, 9-вулканска брекча, изградена от късове от червено оцветени алкални трахити, 10, 11 – контакт между хиалокластити(хкл) и пилоу-лави (пл), 12 – тектонизирана зона сред пилоу-лави); 13силно изветрели и напукани пилоу-лави от участък 14; 14 –свлачище, образувано в скалите на Галатската свита, възпрепятстващо наблюдаването на трансгресивния контакт между Живизлийската и Галатската свита; 15- обходната крайбрежна алея на гр. Приморско (на снимката нейният северен участък, на заден план се вижда нос Кюприя), предоставяща отлични условия за наблюдаване и изучаване на петроложките и геоморфоложките особености в рамките на геотопа

ГЕОЛОЖКИ ФЕНОМЕНИ В ПОНОР ПЛАНИНА (ЗАПАДНА БЪЛГАРИЯ)

Борис Вълчев, Георги Начев

Минно-геоложки университет "Св. ИванРилски", София 1700, e-mail: b_valchev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В геоложко отношение Понор планина заема преходно положение между Западното Средногорие и Западния Балкан. Известна е с геоложкия феномен "Джуглата", включен в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в България", както и с описания по-късно скален венец "Скакля". Този дял на Западна Стара планина, отделен от реките Нишава (от запад), Пробойница (от североизток), Искър (от изток) и Искрецка (от юг), предоставя отлични възможности за наблюдаването и изучаването на разнообразието от геоморфоложки обекти, оформени в триаските и юрските карбонатни скали, както и в кватернерните наслаги. Настоящата статия има за цел да даде описания на някои от най-типичните геоложки феномени, експонирани в рамките на планината – широко разпространените скални венци, оформени в скалите на Могилската (Оленек-Аниз), Милановската (Ладин), Яворецката (Калов-Оксфорд) и Гинската свита (Оксфорд-Титон), скалните пирамиди, изваяни в скалите на Могилската свита в каньона Вранево и тези, на Русиновделската свита (Ладин-Карн) при с. Добравица, карстовите форми тип "Limestone pavement" при вр. Крета, палеосвлачището в североизточните покрайнини на с. Добравица, формирани в колувиалните отложения при с. Добравица, кортовите форми тип "Limestone pavement" при вр. Крета, палеосвлачището в североизточните покрайнини на с. Добравица, срутищата, формирани в колувиалните отложения при с. Добравица, кортовите форми тип "Limestone рачетен" при вр. Крета, палеосвлачището в североизточните покрайнини на с. Добравица, срутищата, формирани в колувиалните отложения при с. Добравица, кортовите форм от с. Церово, каменните реки, образувани в колувиалните седименти северно и южно от вр. Грохотен, разкритията на гънкови структури при селата Искрец, Добравица, Брезе и Добърчин, както и в централната част на Зимевишкото плато. Съгласно класификацията на гънкови структури при селата Искрец, Добравица, Брезе и Добърчин, както и в централната част на зимевишкото плато. Съгласно класификацията на сеоложките феномени, по-голямата част от описаните забележите

GEOLOGICAL PHENOMENA IN PONOR MOUNTAIN (WESTERN BULGARIA)

Boris Valchev, Georgi Nachev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: b_valchev@mgu.bg

ABSTRACT. With respect to geology, Ponor Mountain is situated between the Western Srednogorie and the Western Balkan. It is famous with the geological phenomena of "Dzuglata", included in "Register and Cadastre of the geological phenomena of Bulgaria", as well as the "Skaklya" rock cliff, which was described later. This part of the Western Stara Planina mountain, separated by Nishava River (from west), Probojnitsa River (from northeast), Iskar River (from east) and Iskretska River (from south),gives an excellent opportunity for field observation and examination of the diversity of geomorphological sites formed in the Triassic and Jurassic carbonate rocks, as well as in the Quaternary deposits. The present article aims to describe some of the most typical geological phenomena exposed in the mountain such as the widely distributed rock cliffs formed in the rocks of the Mogilska Fm (Olenekian-Anisian), Milanovo Fm (Ladinian-Carnian) near the village of Dobravitsa, the karst landforms of "Limestone pavement" type at Kreta Peak, the rock paleolandslide in the northeastern suburbs of the village of Dobravitsa, the colluvial deposits near the same village and south of the village of Zimevitsa, the small earth pyramid formed in the deluvial (slope drift) sediments east of the village of Tserovo, the stone rivers developed in the colluvial sediments north and south of Grohoten Peak, the outcrops of folds near the villages of Iskrets, Dobravitsa, Breze and Dobarchin, as well as in the central part of the Zimevitsa plateau. According to the classification of the geological phenomena, the wasters of the criteria for geosites of scientific value (tectonic class). According to the original Bulgarian methodology for estimation of geological phenomena, they corresponds to the criteria for geosites of local or national importance.

Увод

Понор планина е дял от Западна Стара планина, ограничен от реките Нишава (от запад, известна в този участък като Гинска), Пробойница (от североизток), Искър (от изток) и Искрецка (от юг, западно от с. Искрец, известна като Козля), като единствено неясна е част от северната й граница с Козница (фиг. 1). Като цяло планината се характеризира със слабо разчленен платовиден релеф, с изключение на долината на р. Брезенска и каньона "Вранево" при с. Бракьовци. Независимо от това, тя предоставя отлични възможности за наблюдаването и изучаването на разнообразието от геоморфоложки обекти, оформени в триаските и юрските карбонатни скали, както и в кватернерните наслаги. Емблематично за района е изобилието от карстови форми (понори, дали името на планината, въртопи, слепи долини), като тук се намират и някои от най-популярните пещери в рамките на Искърския пролом (Водната, Елата, Душника, Срутената, Меча дупка и др.). В геоложко и геоморфоложко отношение интересът на изследователите, а и на любителите спелеолози и туристи, е привличан главно от Зимевишкото плато, заемащо сравнително голяма площ в източната част на планината.

Изследваният район е известен с геоложкия феномен "Джуглата", включен в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в България", както и с описания по-късно скален венец Скакля. Настоящата статия има за цел да популяризира някои от най-типичните геоложки феномени, като скални венци, каменни пирамиди, земни пирамиди и каменни реки, да разгледа обекти като палеосвлачища, срутища, разкрития на гънкови структури, описани при специализирани геоложки проучвания, в светлината на дискусията за опазването и популяризирането на българското геоложко наследство, а също така и да представи един неописван досега в българската геоложка литература феномен - карстовите форми тип "Limestone pavement" (варовиков паваж).



Фиг. 1. Схематична карта на Понор планина

1 –скални венци, 2 – срутища, 3 – каменни пирамиди, 4 – земни пирамиди, 5 – палеосвлачища, 6 – каменни реки, 7 - карстови форми тип "Limestone pavement" (варовиков паваж), 8 – разкрития на гънкови структури

Данни за геоложкия строеж на района

Понор планина се характеризира със сложен геоложки строеж, демонстриран на фигура 2. Предвид целта и характера на настоящия текст застъпените стратиграфски и тектонски единици ще бъдат маркирани накратко.

Стратиграфия

В строежа на планината участват палеозойски теригенни и интрузивни скали, триаски, юрски и раннокредни теригенни, теригенно-карбонатни и карбонатни седиментни скали, както и кватернерни наслаги (фиг. 2).

Палеозойските теригенни скали се разкриват в североизточните (долината на р. Пробойница), източните (долината на р. Искър) и южните (долината на р. Искрецка) склонове на планината. Най-старите от тях се отнасят към *пясъчниково-алевролитово-аргилитната метазадруга* (Камбрий-Долен Ордовик) (Antonov, 1989), разкриваща се в долината на р. Пробойница, *глинестата* (Ордовик) (Иванов, 1970) и *алевролитово-аргилитната метазадруга* (Ордовик) (Antonov, 1989), и *олистостромната единица* (Ордовик) (Ангелов и др., 20086), които могат да се наблюдават в долината на р. Искър между гара Бов и гара Лакатник, както и Грохотенската свита (Спасов, 1958, 1960, 1989; Среден-Горен Ордовик), изграждаща южните склонове на планината. В района на гр. Своге на малка площ се разкриват въведените и описани от Тенчов (Тенчов, 1966, 2006; Tenchov, 1977) къснокарбонски Свидненска (Намюр С-Вестфал А), Дръмшанска (Вестфал А) и Свогенска свита (Вестфал А), а в най-западната част на планината (на неголяма площ в района на с. раннопермските Манастирище) са представени Беримерска (Yanev, 1981, 1982) и Курилска свита (Yanev, 1981, 1982). Като отделни петна се разкрива източният завършек на къснокарбонския Петрохански плутон, внедрен сред скалите на пясъчниково-алевролитовоаргилитната метазадруга (в долината на р. Пробойница) и олистостромната единица (при гара Бов), около чийто контакт е оформен тесен ореол от контактно променени скали.

Триаската система е представена от стандартните за Западните Балканиди Петроханска, Искърска и Мизийска група.

Петроханската теригенна група (Тронков, 1981; Долен Триас) покрива трансгресивно и несъгласно различни нива на палеозойския разрез. Разкрива се под формата на непрекъсната ивица от с. Церово до гара Лакатник, по долината на р. Пробойница, в най-северната част на Понор, както и като отделни петна западно от с. Церово и северно от с. Искрец.

Искърската карбонатна група (Тронков, 1981; Оленек-Карн) е представена от пет свити: Свидолска (Чаталов, 1974; Оленек), Могилска (Ассерето и др., 1983; Оленек-Аниз) с два члена (обединени на картата на фиг. 2) – Оплетненски (въведен като Оплетненска свита от Тронков, 1968) и Лакатнишки (въведен като Лакатнишка свита от Тронков, 1968), Бабинска (Тронков, 1968; Аниз), Милановска (Тронков, 1968; Ладин) и Русиновделска (Тронков, 1968; Ладин-Карн). С изключение на първата, която следва с бърз литоложки преход над Петроханската група и оформя тясна ивица в същите локалитети, останалите свити се разкриват на широки площи в северната половина на планината, както и в долините на реките Искър и Брезенска, следвайки една над друга с рязък или бърз литоложки преход.

Мизийската група (Чемберски и др., 1974) в района включва само Комщицката свита (Tronkov, 1969; Карн-Нор), следваща с рязък литоложки контакт над Русиновделската свита и разкриваща се като тясна ивица северозападно от с. Бракьовци.

Юрската система е развита пространствено в обхвата на Зимевишкото плато, в долината на р. Брезенска и Бракьовци. Разполага северозападно от с. ce трансгресивно върху различни нива на триаския разрез. Посочените по-долу литостратиграфски единици следват нормално една над друга, най-често с рязък литоложки контакт. Долноюрската, както и долните и средните нива на Средноюрската серия са изградени от теригенни и теригенно-карбонатни последователности – въведените от Сапунов (първите три в Сапунов и др., 1967) Костинска (Хетанж-Синемур), Озировска (Синемур-Аален), Етрополска (Аален-Байос) и Бовска свита (Сапунов, 1969; Бат), развити в периферните части на Зимевишкото плато, както и в района на с. Брезе. Най-горните нива на Средноюрската, както и цялата Горноюрска серия са представени от скалите на Западнобалканската карбонатна група (Sapunov, 1976; Бакалова и др., 1982), включваща въведените от Николов, Сапунов (1970) Яворецка (Калов-Кимеридж), Гинска (Кимеридж-Титон) и част от Гложенската свита (Титон-Бериас), изграждащи широки площи в Зимевишкото плато и отделни петна в долината на р. Брезенска.

Долнокредната серия е изградена от най-горните нива на Гложенската свита, както и от *Салашката* (Nikolov, 1969; Николов, Цанков, 1971; Бериас) и *Черниосъмската свита* (Николов, Сапунов, 1970; Бериас). Последните две оформят широка ивица с посока ЮЗ-СИ в централната част на Зимевишкото плато.

Кватернерната система включва няколко генетични типа континентални отложения – алувиално-пролувиални (Плейстоцен), разкриващи се в каньона Вранево между с. Брезе и мах. Вранево на с. Гинци, *делувиалнопролувиални* (Плейстоцен-Холоцен), развити западно от мах. Завидовци, *пролувиални* (Плейстоцен-Холоцен), под формата на отделни петна в най-северните части на Понор, *колувиални* (Холоцен), представени от срутища (в западното, северното и източното подножие на Зимевишкото плато) и каменни реки (в масива на вр. Грохотен), и *алувиални* (Холоцен), развити в долините на реките Искър и Искрецка.

Тектоника

Понор планина обхваща части от Западнобалканската и Средногорската зона. Първата е представена изцяло от Берковската единица, заемаща приблизително северните 2/3 от територията на планината. Средногорската зона включва характеризираните от Ангелов и др. (2008 а, б) Видличка и Зимевишка люспа, надхлъзнати по Височкия възсед и Брезенския навлак върху Берковската единица, както и от Свогенската единица, навлечена на север по Искрецкия навлак, който е съставна част от регионално проявения Видлички навлак, включващ серия от разломни повърхнини.

Характеристика на геоложките феномени

Описаните в настоящата статия геоложки феномени се отнасят към групата на обектите с естетическа (клас геоморфоложки – скални венци, каменни пирамиди, земни пирамиди, срутища, каменни реки, карстови форми тип "Limestone pavement") или научна стойност (клас тектонски, включващ палеосвлачища и разкрития на гънкови структури). Те са концентрирани предимно в обхвата на Зимевишкото плато, масива на вр. Грохотен и долината на р. Брезенска.

Скални венци. Това са най-често срещаните и найвъздействащи скални форми, емблематични за Понор планина. Те са оформени в триаските (в Могилската и Милановската свита) и юрските (Яворецката, Гинската и Гложенската свита) карбонатни скали. Пространствено първите са развити главно във високите части на левия бряг на долината на р. Искър, докато вторите могат да се наблюдават в северния, западния и южния ръб на Зимевишкото плато, както и в десния склон на долината на р. Брезенска.

Първата група скални венци се проследяват на разстояние около 15 km почти без прекъсване от с. Церово до устието на р. Пробойница. Основната част от тях са оформени в скалите на Лакатнишкия член на Могилската свита (табл. I, сн. 1-4), заемайки различно хипсометрично ниво – 660-730 m между с. Церово и гара Бов, 800-850 m северно от с. Заселе, 500-550 m при устието на р. Пробойница. Под скалния венец в западния край на с. Церово, в скалите на Оплетненския член на Могилската свита, е изваяна амфитеатрално скална стена (табл. I, сн. 1), в чиято основа е входът на известната Водна пещера. В югоизточния край на с. Заселе се намира известният скален венец Скакля (Синьовски, Синьовска, 2009), с едноименния водопад, оформен в скалите на Милановската свита (табл. I, сн. 5, 6).



Фиг. 2. Геоложка карта на Понор планина (по Ангелов и др., 2009а,б; Ангелов и др., 2010; Ангелов и др., 2011; с изменения) 1-4 – Кватернер: 1 – алувий (Холоцен); 2 – колувий (Холоцен); 3 – пролувий (Плейстоцен-Холоцен); 4 – делувиално-пролувиални наслаги (Плейстоцен-Холоцен); 5 – алувиално-пролувиални наслаги (Плейстоцен); 6 – Долна Креда (Бериас): Черниосъмска и Салашка свита; 7 – Средна Юра-Долна Креда: Западнобалканска карбонатна група – Гложенска (Титон-Бериас), Гинска (Кимеридж-Титон) и Яворецка (Калов-Кимеридж) свита; 8-12 – Долна-Средна Юра: 8 – Бовска (Бат) и Етрополска (Аален-Байос) свита, 9 – Бовска, Етрополска, Озировска (Синемур-Аален) и Костинска (Хетанж-Синемур) свита, 10 - Етрополска, Озировска и Костинска свита, 11 – Етрополска свита, 12 – Озировска и Костинска свита; 13-

22 – Триас: 13 – Комщицка свита (Карн-Нор), 14-21 – Искърска карбонатна група: 14 – Русиновделска свита (Ладин-Карн), 15 – Русиновделска и Милановска (Ладин) свита, 16 – Русиновделска, Милановска и Бабинска (Аниз) свита, 17 – Милановска свита, 18 – Бабинска свита, 19 – Бабинска и Могилска (Оленек-Аниз) свита, 20 – Могилска свита, 21 – Свидолска свита (Оленек); 22 – Петроханска теригенна група (Долен Триас); 23 – Долен Перм: Курилска и Беримерска свита; 24-27 – Горен Карбон: 24-25 – Петрохански плутон (24 – гранодиорити, 25 – диорити), 26 – контактно променени скали, 27 – Свогенска (Вестфал А), Дръмшанска (Вестфал А) и Свидненска (Намюр С-Вестфал А) свита; 28-31 – Ордовик: 28-29 – Грохотенска свита (28 - аргилити, 29 – кварцити), 30 – олистостромна единица, 31 – глинеста и алевролитово-аргилитна метазадруга; 32 – Камбрий-Ордовик: пясъчниково-алевролитово-аргилитна метазадруга; 33 – литостратиграфска граница; 34 – граница на колувиално-свлачищни блокове; 35-38 – разломи (а – установени, 6 – предполагаеми): 35 – разсед; 36 – възсед; 37 – навлак; 38 – разлом с променлив или неизяснен характер; 39 – тектонска клипа; 40 – тектонски граници: 1 – Височки възсед, 2 – Брезенски навлак, 3 – Искрецки навлак

Втората група скални венци е развита основно в скалите на Яворецката и отчасти в тези на Гинската и Гложенската свита (при с. Добравица). Те опасват почти без прекъсване Зимевишкото плато (обща дължина около 20 km), като показват различна степен на изразеност (табл. І, сн. 7-11). Особено впечатляващ е пейзажът по западния ръб на платото, източно от мах. Топилата на с. Добравица, където в скалите на Яворецката, Гинската и Гложенската свита са оформени стъпаловидно, един над друг, два скални венеца (табл. I, сн. 12, табл. II, сн. 1). Друг впечатляващ венец – "Омегата", е изваян в скалите на Яворецката свита югоизточно от мах. Цветковци на с. Добравица. Неговото образуване е подпомогнато и от наличието на североизточно вергентнолокално разломно нарушение с възседен характер (табл. II, сн. 2, 3). Интерес предизвиква и малкият скален венец при с. Меча поляна. Тук карстификацията на субхоризонталните пластове на Яворецката свита е довела до оформянето на своеобразни "ритли", наподобяващи крепостни порти (табл. II, сн. 4, 5), отвеждащи към входа на пещерата Меча дупка.

Скален венец с дължина 2,5 km, оформен в скалите на Яворецката и Гинската свита, може да се наблюдава западно от с. Брезе, в десния склон на долината на р. Брезенска (табл. II, сн. 6-8). Тук карстификацията е довела и до образуването на скални кукли в рамките на венеца, достигащи височина 10 m (табл. II, сн. 9).

Оформянето на скалните венци е литоложки и тектонски предопределено – първичната напуканост на устойчивите на влиянието на екзогенните процеси карбонатни скали подпомага отцепването на скални блокове по две системи от субвертикални пукнатини. Най-ясно те могат да се наблюдават южно от кота Църнио камък, източно от мах. Топилата (табл. II, сн. 10), както и при водопада Добравишка Скакля (табл. II, сн. 11, 12), югоизточно от мах. Цветковци. За дооформянето на венците са допринесли и карстовите процеси.

Каменни пирамиди. Могат да се наблюдават в района на с. Добравица (800m южно от центъра на махала Цветковци) и каньона Вранево. Първите са оформени в доломитите на Русиновделската свита, които изграждат неголям хребет с дължина 500 m и посока ЮЗ-СИ. Разположени са на гребена на хребета, оформяйки неясна редица от общо 7 пирамиди (табл. II, сн. 13). Най-добре изразени и с най-голяма височина са двойката пирамиди в СИ край на редицата (табл. I, сн. 14). Те имат обща основа, като височината на по-високата достига 10 m, тази на пониската – 8 m. Пирамидите са образувани в резултат на карстовите процеси, улеснени от първичната напуканост на скалите, характеризираща се с наличието на две ортогонални една на друга субвертикални пукнатинни групи. Единична пирамида с височина 6 m е изваяна в скалите на Лакатнишкия член на Могилската свита в каньона Вранево, източно от с. Бракьовци (табл. I, сн. 15). Към групата на каменните пирамиди се отнася и емблематичната за с. Церово фигура "Джуглата" (Айданлийски, 2013), оформена в хоризонталните пластове на Петроханската теригенна група (табл. II, сн. 16). Обявена е за природна забележителност през 1964г. (фигурира в Държавния регистър на природните забележителности под № 54), като за нея през 2001г. е съставено досие в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в България" (Айданлийски в Желев, Синьовски, 20031).

Земни пирамиди. Този вид геоложки феномени е доста нетипичен за района. Представен е от една единична пирамида, намираща се на около 700 m от центъра на с. Церово (табл. III, сн. 1). Тя е оформена от действието на временните повърхностно течащи потоци в делувиалните наслаги, покриващи сравнително стръмния ляв склон на дола западно от селото. Може да се наблюдава от пътя за старата варовикова кариера. Изградена е от валунни, чакълни и гравийни варовикови късове от Могилската свита, споени с кафявобежова глинесто-песъчлива спойка. Височината й е 2,5 m. В напречно сечение е кръгла до овална, без ясно изразен връх.

Палеосвлачища. Наличието на тези геоложки структури в изследвания район, както и морфологията и генезисът им, са разгледани подробно от Московски, Мандов (1983). В настоящот оизследване е документирана част от палеосвлачището в източния край на мах. Топилата. В неговия обхват изпъква ясно открояващ се в релефа блок с височина 15 m, ширина 7-8 m, дължина 50 m (табл. III, сн. 2, 3). Неговото тяло е монолитно и със запазен нормален пласторед, в който се различават скалите на Яворецката и Гинската свита, като ориентировката на слоестостта е идентична с тази от скалния венец източно от свлачището. Свличането се е извършило по некомпетентните пластове на Етрополската свита.

Срутища. В подножията на стръмните склонове на много места в Понор планина се наблюдават стари и съвременни срутища, но особено впечатляващ пейзаж те оформят в северното (южно от с. Зимевица) и най-вече западното подножие на Зимевишкото плато (източно от махалите Топилата и Сульовцина - с. Добравица). Изградени са от хаотично натрупани ръбести варовикови блокове, възникнали при отцепването на скални маси по вертикални пукнатини от скалните венци, оформени в скалите на Яворецката и Гинската свита. Блоковете са с призматична,

¹Желев, В., Д. Синьовски (ред.). 2003. Регистър и кадастър на геоложките феномени в България. 188 досиета в 5 тома. – Национален геофонд, XV-1232 (на български, руски и английски език).

паралелепипедна или неправилна форма, като слоестостта в по-едрите от тях, достигащи до 10 m дължина, е ориентирана хаотично (табл. III, сн. 4,5). Найголемите срутища се намират при с. Добравица, където оформят две петна с неправилна форма и заемат обща площ с дължина570 m и ширина 350m.

Каменни реки. Могат да се наблюдават в северния и южния склон на масива на вр. Грохотен. Хаотично натрупаните блокове оформят няколко петна предимно с неправилна форма, като най-голямото от тях се разкрива непосредствено на юг от върха и може да се наблюдава от центъра на гр. Своге. Реките са изградени изцяло от блокове от кварцити, възникнали при обрушването и гравитационното свличане от коренните разкрития на кварцитната пачка в състава на Грохотенската свита. Самите блокове са ръбести, най-често с неправилна форма (табл. III, сн. 6, 7). Диаметърът им достига до 2-3 m.

Карстови форми тип "Limestone pavement" (варовиков паваж). Това е един неописван до момента в българската геоложка литература феномен. Разкриват се на площ от около 80 m² при вр. Крета в централната част на Зимевишкото плато. Възникнали са в резултат на разтварянето на варовиците на Гложенската свита от повърхностно течащи временни води, което от своя страна е предопределено от първичната напуканост на скалите, незначителния наклон на пластовете и слабо разчленения релеф в локалитета, в който са експонирани. Механизмът на образуването им е свързан с постепенното вдълбочаване и разширяване на първичните пукнатини, вследствие на разтварянето на карбонатното вещество. като в момента на настоящите наблюдения някои от пукнатините достигат дълбочина 1 m и ширина 70 cm (табл. III, сн. 8, 9).

Разкрития на гънкови структури. Могат да бъдат наблюдавани главно в обхвата на Зимевишкото плато. Гънково-разломният му строеж е разгледан подробно от Пиронков (1971), Пиронков, Стоянов (1974) и Московски (1996, 2001). В западния склон на платото (при с. Добравица), напречно на оста на гънката, се разкриват ядката (изградена от скалите на Етрополската свита) и мантията (оформена от Бовската, Яворецката и Гинската свита) на Добравишката антиклинала (Пиронков, 1971; табл. III, сн. 10), а непосредствено на югозапад от вр. Сърбеница може да се наблюдава североизточната периклинала на Сърбенишката антиклинала (Бончев, 1910; табл. III, сн. 11), оформена от скалите на Гинската и Гложенската свита.

Десният склон на долината на р. Брезенска също предлага интересни разкрития. Западно от с. Брезе, в рамките на споменатия по-горе скален венец, се наблюдават приразломни огъвания в Гинската свита с метрови размери (табл. III, сн. 12), а на 1 km северно от с. Искрец (при водохранилището) е оформено приразломно огъване в скалите на Милановската свита, предизвикано от придвижването на север на алохтона на Искрецкия навлак (табл. III, сн. 13). Малка северновергентна гънка в скалите на Оплетненския член на Могилската свита (табл. III, сн. 13) може да се наблюдава в десния склон на р. Сирищна, западно от с. Добърчин. При направената експертна оценка, следвайки оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени (Синьовски и др., 2002), е констатирано, че описаните в настоящата статия обекти са с локално (скалните венци, каменните пирамиди, палеосвлачищата, срутищата, каменните реки, карстовите форми, разкритията на гънкови структури) или национално значение (Джуглата).

Заключение

Понор планина съчетава сложен геоложки строеж (пъстра литостратиграфска и хроностратиграфска палитра, гънкови структури, разломни нарушения) и сравнително добра разкритост на скалните комплекси, което е една отлична предпоставка за експонирането на геоложки феномени с естетическа и научна стойност. От друга страна добрите транспортни комуникации (шосето София-Мездра по Искърския пролом от изток, пътя за Петроханския проход от запад, локалните шосета Своге-Бучин проход от юг, Церово-Заселе-Зимевица и Искрец-Брезе) улесняват значително достъпа до различните геоложки феномени. За популяризирането им обаче е необходимо разработването на интерпретативни геоложки маршрути и поставянето на информационни табла с геоложка информация, тъй като до момента такава липсва. Това ще доведе до значително увеличаване на интереса към този район (до момента изразяващ се единствено в преминаването на Вазовата екопътека от обикновените туристи, посещаването на многобройните пещери от спелеолозите и някои offroad-маршрути в северните части на планината), а от тук и до съживяване на икономиката в населените места в обхвата на планината. Предвид географското й положение, тя се явява естествен сегмент от един бъдещ геопарк "Искърско дефиле".

Благодарности. Изказваме благодарност на рецензента проф. д-р Венелин Желев за направените препоръки към ръкописа на статията.

Литература

- Айданлийски, Г. Джуглата, с. Церово, Софийска област. *Геол. и мин. рес.*, 7-8, 2013. 21-25.
- Ангелов, В.,Г. Айданлийски, П. Петров, С. Герджиков, М. Антонов, Х. Киселинов, В. Вълев. Обяснителна записка към геоложката карта на Република България в М 1:50 000, картен лист К-34-35-В (Годеч). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., Унискорп ООД, 2008а. 79 с.
- Ангелов, В., М. Антонов, С. Герджиков, П. Петров, Х. Киселинов, Г. Айданлийски, В. Вълев. Обяснителна записка към геоложката карта на Република България в М 1:50 000, картен лист К-34-35-Г (Лакатник). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., Унискорп ООД, 20086. 92 с.
- Ангелов, В., М. Антонов, С. Герджиков, П. Петров, Х. Киселинов, Г. Айданлийски, В. Вълев. 2009а. Геоложка карта на Република България в М 1:50 000, картен лист К-34-35-В (Годеч). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., Апис 50 ООД.

Ангелов, В., М. Антонов, С. Герджиков, П. Петров, Х. Киселинов, Г. Айданлийски, В. Вълев. 2009б. Геоложка карта на Република България в М 1:50 000, картен лист К-34-35-Г (Лакатник). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., Апис 50 ООД.

Ангелов, В., М. Антонов, С. Герджиков, В. Сираков, С. Танациев, В. Сачански, В. Вълев. 2010. Геоложка карта на Република България в М 1:50 000, картен лист К-34-47-Б (Своге). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., Апис 50 ООД.

Ангелов, В., С. Герджиков, В. Сираков, Р. Маринова, В. Вълев, С. Танациев, Л. Методиев, Г. Айданлийски. 2011. *Геоложка карта на Република България в М 1:50 000, картен лист К-34-47-А (Сливница)*. МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., Апис 50 ООД.

Ассерето, Р., Г. Чаталов, Д. Тронков. 1983. Могилская свита (нижний-среднийтриас) в ЗападнойБолгарии. – *Geol.Balc.*, *13*, 6, 25-27.

Бакалова, Д., Л. Додекова, Х. Чемберски. 1982. Списък на имената на седиментните и седиментно-вулканогенните литостратиграфски единици, въведени в България.-Сп. Бълг. геол. д-во, 43, 1, 102-112.

Бончев, С. 1910. Геология на Западна Стара планина. II. Главни линии от геологичния строеж (направа) на Западна Стара планина. – *Тр. Бълг. прир.-изпит. д-во, 4*,1-59.

Иванов, Ж. 1970. Върху характера и последователността на ранните деформации в старопалеозойските скали на Стара планина между долината на р. Искър и Етрополския проход. – Изв. Геол. инст., сер. геотект., 19, 25-59.

Московски, С. 1996. Дисхармоничен гънков строеж на Зимевишкото плоскогорие (Западна Стара планина). – В: Юбилеен сборник "50 години специалност Геология", С., Унив. изд., 20-23.

Московски, С. 2001. Строеж на Зимевишкото плоскогорие (Западна Стара планина). – Год. Соф. унив., Геол.-геогр. ф-т, 91, св. I – геол., 81-108.

Московски, С., Г. Мандов. 1983. Геоложки аспекти на палеосвлачищата в района на Зимевишкото плоскогорие (Западна Стара планина). – Год. Соф. унив., 77, кн. 1 – Геология, 217-235.

Николов, Т., И. Сапунов. 1970. О региональной стратиграфии верхной юры и части нижнего мела в Балканидах. – *Докл. БАН,23*, 11, 1397-1400.

Николов, Т., Ц. Цанков. 1971. Бележки за литостратиграфията на част от долнокредните седименти в Западните Балканиди. – Изв. геол. инст., сер. стратигр. и литол., 20, 63-70.

Пиронков, П. 1971. Блоковият строеж и развитието на алпинотипните структури в обсега на Издремецката синклинала. - Год. Соф. унив., Геол.-геогр. ф-т, 63, св. I – Геол., 89-106.

Пиронков, П. С. Стоянов. 1974. Взаимоотношенията между гънкови и разломни структури в Зимевишкото плоскогорие. - *Год. Соф. унив., Геол.-геогр. ф-т*, 66, св. I – Геол., 71-83.

Сапунов, И. 1969. Относно някои съвременни стратиграфски проблеми на юрската система в България. - Изе. геол. инст., сер. стратигр. и литол., 18, 5-20.

Сапунов, И., П. Чумаченко, В. Шопов. 1967. Биостратиграфия на долноюрските скали при с.

Комщица, Софийско (Западни Балканиди). - Изв. геол. инст., сер. стратигр. и литол., 16, 125-143.

Синьовски, Д., В. Желев, М. Антонов, С. Джуранов, З. Илиев, Д. Вангелов, Г. Айданлийски, П. Петров, Х. Василев. 2002. Метод за оценка на геоложки феномени. – II Международна конференция SGEM, Варна, 25-33.

Синьовски, Д., Д. Синьовска, 2009. Скален венец Скакля. - http://mgu.bg/geosites/skaklya.html.

Синьовски, Д., Д. Синьовска. Скалният венец "Скакля" при с. Заселе, община Своге. - Сп. Геология и мин. ресурси, 18, 7-8, 2011. - 21-23.

Спасов, Х. 1958. Фосилите на България. Т. 1. Палеозой. С., БАН, 91 с.

Спасов, Х. 1960. Стратиграфия на ордовика и силура в ядката на Свогенската антиклинала. – *Тр. геол. Бълг., сер. стратигр. и тект., 1*, 161-202.

Спасов, Х. 1989. Литостратиграфия ордовикско-силурских отложении Болгарии. - *Тезисыдокп., XIV к-с КБГА,* 648–651.

Тенчов, Я. 1966. Литостратиграфия и строеж на Свогенския карбон. – Изв. геол. инст., 15, 243-268.

Тенчов, Я. 2006. Литостратиграфски поделби за карбона в Свогенския въглищен басейн – Сп. Бълг. геол. д-во, 67, 1-3,50-52.

Тронков, Д. 1968. Границата долен триас – среден триас в България. – Изв. Геол. инст., сер. палеонт., 17; 113-131.

Тронков, Д. 1981. Стратиграфиятриасовойсистемы в части ЗападногоСредногорья (ЗападнаяБолгария). – *Geol.Balc.*, *11*, 1; 3-20.

Чаталов, Г. 1974. Фации в Свидольскойсвите (нижний триас) Тетевенского антиклинория. – Докл. БАН,27, 2, 239-242.

Чемберски, Г., Я. Вапцарова, И. Монахов. 1974. Литостратиграфия на пъстроцветните теригеннокарбонатни и карбонатни седименти, свързани с триаса, разкрити при дълбокото сондиране в СЗ и ЦС България. – Год. ДСО "Геол. проуче.", 20, 327-341.

Antonov, M. 1989. Morphology and development of axial-plane cleavage in low-grade metamorphic rocks from the Rzhana Mountain, NW Bulgaria. –*In:Proc. XIV Congr. CBGA, 2*, 478-481.

Nikolov, T. 1969. Le Cretaceinterieur en Bulgarie. – Bull. Soc. Geol. France, 7, 11, 56-68.

Sapunov, I. 1976. Ammonite stratigraphy of the Upper Jurassic in Bulgaria. I. Rock and ammonite successions. – *Geol. Balc.*, 6, 3, 17-42.

Tenchov, Y. 1977. Flora und Biostratigraphie des Oberkarbons im Svoge Becken (VR Bulgarien). – *Schriftenr. Geol. Wiss. Akad.-Verlag., Berlin,* 7, 1-163.

Tronkov, D. 1969. Neue Angaben über das Alter der bunten Gesteinedes "Räts" (obere Trias) in Bulgarien. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.,* 21, 4, 363-366.

Yanev, S. 1981. The Permian in Bulgaria. – Proc. Int. Symp. Europ. Premian, Jablona, April 27-29, Warsaw, 103-126.

Yanev, 1982.Variscanmolasse in Sofia Stara Planina (Buchino Pass – Kurilo - Iordankino). Excursion Guide book Molasse formation in Bulgaria. – *Geol. Inst. Bulg. Acad. Sci.*, Sofia, 49-54.

Статията е рецензирана от проф. д-р Венелин Желев и препоръчана За публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ТАБЛИЦА І



1 – скален венец (горе) в скалите на Лакатнишкия член и амфитеатрално оформена скална стена (долу) в Оплетненския член на Могилската свита в C3 край на с. Церово; 2 – скални венци в Могилската свита при Гара Бов; 3 – скала "Триъгълника" 3 от гара Бов; 4 – скални венци в Лакатнишкия член на Могилската свита при устието на р. Пробойница; 5 – скален венец Скакля под с. Заселе; 6 – скални кукли в Ю край на скалния венец Скакля; 7-11 – скални венци в Яворецката и Гинската свита: 7 – С от Каишов връх, 8 – при вр. Була, 9 – И от мах. Цветковци на с. Добравица, 10 – при вр. Чепърна, 11 – Ю от водопада Добравишка Скакля (в основата му е входът на пещерата Говедарника); 12 – стъпаловидно разположени скални венци в западния склон на Зимевишкото плато, оформени в скалите на Яворецката (долу), Гинската и Гложенската свита (горе), панорама от мах. Топилата на с. Добравица; в десния край на снимката се вижда част от голямо срутище

ТАБЛИЦА ІІ



1 - стъпаловидно разположени скални венци в западния склон на Зимевишкото плато, оформени в скалите на Яворецката (долу) и Гинската свита (горе), при мах. Сульовци на с. Добравица; 2 – скални венци в Яворецката свита И от мах. Цветковци на с. Добравица; 3 – скалният венец "Омегата"И от мах. Цветковци; 4, 5 – "ритли", оформени при карстификацията на субхоризонталните пластове на Яворецката и Гинската свита С от с. Меча поляна; 6-8 – скални венци в скалите на Яворецката и Гинската свита в десния склон на долината на р. Брезенска 3 от с. Брезе; 9 – скални кукли, изваяни в скалите на Гинската свита 3 от с. Брезе; 10-ясно изразени две ортогонални една на друга системи от субвертикални пукнатиниИ от мах. Топилата; в основата на скалитя от все се вижда част от голямо срутище; 11, 12 – субвертикални пукнатини в скалите на Яворецката свита 3 (сн. 11) и Ю (сн. 12) от водопада Добравишка Скакля; 13, 14 – каменни пирамиди в скалите на Русиновделската свита Ю от мах. Цветковци; 15 – каменна пирамида, оформена в скалите на Могилската свита в каньона Вранево, И от с. Бракьовци; 16 – геоложкият феномен Джуглата при с. Церово

ТАБЛИЦА III



1 – земна пирамида, оформена в делувия в левия склон на дола 3 от с. Церово; 2 – ясно изразен в релефа монолитен блок в обхвата на палеосвлачище при мах. Топилата на с. Добравица; 3 – "Акулите", оформени в скали на Гинската свита във фрагмент от същия блок; 4, 5 – фрагменти от срутището под скалния венец при с. Добравица; 6, 7 – каменни реки от кварцитни блокове: 6 – в северното подножие на вр. Грохотен (поглед към с. Церово), 7 – СЗ от кв. Козарника на гр. Своге (поглед на СИ); 8, 9 – карстови форми тип "Limestone pavement"(варовиков паваж) при вр. Крета; 10 – панорамана Добравишката антиклинала И от мах. Топилата и Сульовци на с. Добравица; 11 – разкритие на СИ периклинала на Сърбенишката антиклинала при вр. Сърбеница; 12 – приразломни огъвания в Гинската свита в десния склон на долината на р. Брезенска 3 от с. Брезе; 13 – приразломно огъване в доломитите на Милановската свита в десния склон на долината на р. Брезенска С от с Искрец; 14 – северновергентна гънка във варовиците на Оплетненския член на Могилската свита в десния склон на долината на р. Сирищна 3 от с. Добърчин

МАГМЕНИТЕ ПРОЯВИ В РАЙОНА НА СЕЛАТА МЕДВЕН И САДОВО, ИЗТОЧНА СТАРА ПЛАНИНА

Бануш Банушев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; banushev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Обект на изследване са няколко изолирани горнокредни субвулкански дайки и малко магмено тяло от южните склонове на Източна Стара планина, в района на селата Медвен и Садово. Магмените скали са вместени в горнокредни пясъчници и гравелити на флишоподобната задруга. Те не са били обект на специализирани изследвания, сведенията за тях са много оскъдни, а данните за класификационното и номенклатурното им положение са противоречиви. В публикацията са представени новите данни за петрографския състав и първи сведения за петрохимичните особености на скалите, химизма на скалообразуващите минерали и условията на кристализация. Според съвременната петрографската номенклатура магматитите са определени като амфибол-пироксенови, пироксенови андезити и базалтови андезити. Вулканитите са средно-К, с калциево-алкална сериалност. Те са високоалуминиеви, слабо преситени на SiO₂, с нормативен кварц и хиперстен. Na₂O преобладава над K₂O, съотношението K₂O/Na₂O е между 0,21 и 0,38, а перралянияти индекс (0,36-0,49) и индексът на диференциация (38-55) постепенно се увеличават от базалтовите андезити към андезити към андезити към андезити към андезити.

Ключови думи: магматити, субвулкански дайки, андезити, базалтови андезити, Източна Стара планина

MAGMATIC MANIFESTATIONS IN THE REGION OF MEDVEN AND SADOVO VILLAGES, EAST STARA PLANINA Banush Banushev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; banushev@mgu.bg

ABSTRACT. Objects of investigation are several isolated Upper Cretaceous sub-volcanic dykes and one small magmatic body in the southern slopes of East Stara Planina Mt, in the region of Medven and Sadovo villages. The magmatic rocks are intruded in Upper Cretaceous sandstones and gravel conglomerates of the flyschlike formation. These objects have not been subjected to specialized studies yet, the information about them is scarce and the data about their classification and nomenclature position are contradictory. This paper is first report about the petrochemical features of the rocks, the chemistry and the conditions of crystallization of the rock-forming minerals. According to the contemporary petrographic nomenclature the magmatites are determined as amphibole-pyroxene and pyroxene andesites and basaltic andesites. The volcanics are medium-K with calc-alkaline series. They are high alumina, weakly oversaturated in SiO₂, with normative quartz and hypersthene. The content of Na₂O prevails that of K₂O and the ratio K₂O/Na₂O is between 0.21 and 0.38, while the peralkaline index (0.36-0.49) and the differentiation index (38-55) gradually increase from the basaltic andesite towards the andesite. The chemical composition of the rock-forming plagioclases and amphiboles is used for the geo-thermobarometric calculations and determination of the P-T conditions of crystallization.

Key words: magmatites, sub-volcanic dykes, andesites, basaltic andesites, East Stara Planina Mt.

Въведение

Горнокредни интрузивни скали в Източна Стара планина са установени в няколко района. Те са под формата на изолирани малки магмени тела и дайки, внедрени в горнотриаски, долноюрски и средноюрски теригеннокарбонатни и глинести скали (Кънчев, 1966, 19956; Кънчев, Иванова-Панайотова, 1972; Банушев, 2013, 2014). Около селата Веселиново и Звезда интрузивното магменото насищане е по-значително, с множество дайки (над 50) и няколко неголеми магмени тела. Вулканитите се редуват с горнокредни седименти и пирокластити. Разпространени са в западните части на Трънашката синклинала, около селата Снежа, Заимчево и по долината на р. Елешница. За наличие на горнокредни магмени скали в района на селата Медвен и Садово се съобщава при общогеоложките изследвания на областта през първата половина на 20ти в. Първоначално те са описани като андезити (Бакалов, 1942; Берегов, 1942), по-късно като диоритови порфирити и андезити (Кънчев (1964) и диоритови порфирити (Кънчев (19956). Магматитите от района не са били обект на специализирани петроложки изследвания. Сведенията за тях са много оскъдни и се базират главно на теренни наблюдения и макроскопски описания, на което вероятно се дължи противоречивият характер относно тяхното класификационно и номенклатурно положение.

Обект на настоящата работа са няколко изолирани субвулкански дайки и малко магмено тяло от южните склонове на Източна Стара планина, СИ от с. Медвен и С-СЗ от с. Садово (фиг. 1). Целта на публикацията е да представи новите данни за петрографския състав и първи сведения за петрохимичните особености на скалите, химизма на скалообразуващите минерали и условията на кристализация.



Фиг. 1. Геоложка карта на района на селата Медвен и Садово (по Кънчев, 1995а): 1-3 Палеоген: 1 – пъстроцветна моласова задруга, 2 – задруга на дебелопластовия флиш, 3 – мергелна задруга; 4-7 Горна Креда: 4 – магмени скали (тела и дайки) и номер на образец, 5 – Беленска варовиково-мергелна свита и варовикова задруга, 6 – флишоподобна задруга, 7 – пясъчникова задруга; 8 – Триас: флишка задруга; 9 – разлом; 10 – навлак

Геоложка обстановка

Районът около селата Медвен и Садово е изграден от горнотриаски, горнокредни и палеогенски наслаги. Горнотриаските седименти на флишката задруга са представени от алтерниращи мергели с варовити алевролити и пясъчници (Кънчев, 1995б). Горнокредните седименти са обособени в няколко литостратиграфски единици: пясъчникова задруга, включваща пясъчници и алевролити, в основата на разреза гравелити и конгломерати; флишоподобна задруга, изградена от монотонно редуващи се мергели, варовици, пясъчници и алевролити и обединени в Беленска варовиково-мергелна свита (глинести варовици и мергели) и варовикова задруга (варовици с кремъчни конкреции). Палеогенът се разкрива в южните части на района и включва задруга на дебелопластовия флиш и пъстроцветна моласова задруга - представена главно от пъстроцветни конгломерати. Задругата на дебелопластовия флиш е изградена от редуващи се пачки от дебелопластов флиш (с преобладание на пясъчниците) и тънкослоест флиш, с алтерниращи пясъчници, алевролити, варовити глини и мергели (Кънчев, 1995б).

Материал и методи

Теренните изследвания включват макроскопско изучаване и опробване на магматитите и вместващите скали. Лабораторните методи са оптическа микроскопия в проходяща светлина, рентгеноспектрални микроанализи и химични анализи. Петрографските особености на скалите са изяснени с поляризационни микроскопи Leitz Orthoplan-Pol и Meiji Techno. Химичният състав на минералите е определен в "Евротест-Контрол" ЕАД, на сканиращ електронен микроскоп JEOL JSM 35CF, с рентгенов микроанализатор Tracor Northern TN – 2000, чрез енергийно дисперсивна система (Аналитик – Х. Станчев). Химичните анализи на скалите са извършени в ЦНИЛ "Геохимия" при МГУ "Св. Иван Рилски", с оптико-емисионен спектрометър ICP-OES-720, Agilent Technologies, с източник на възбуждане индуктивно свързана плазма (Аналитик – Д. Драгоева).

Резултати

Петрографска характеристика. Изследваните магмени скали са под формата на единични субвулкански дайки и малки тела, с неизяснени размери и взаимоотношения с вместващите скали поради закрития терен. Разкриват се сред горнокредни седиментни скали (гравелити и пясъчници) на флишоподобната задруга (фиг. 1).

Гравелитите се разкриват в района СИ от с. Медвен. Те са светлосиви, с жълтеникав оттенък. с дребно- до среднокъсова, псефитна (гравийна) структура. Изградени са от добре заоблен, по-рядко полузаоблен кластичен компонент – скални късове на кварцити и минерални зърна кварц, плагиоклази и мусковит, с преобладаващи размери 2-4 mm. Циментът е от автогенен калцит и малко глинесто вещество от базален тип. Сред него се наблюдават агрегати с неправилна форма от халцедон и отделни прерези от иноцерамуси.

Пясъчниците следват с постепенен преход над гравелитите. Те са светлосиви, с кафеникав оттенък, с дребно- до среднозърнеста псамитна структура и слоеста текстура. Кластичният компонент (минерални зърна и литити) е около 90%, добре сортиран, полузаоблен, с преобладаващи размери 0,1-0,2 mm. Минералните зърна са предимно от кварц и плагиоклази, в по-малка степен Кфелдшпати, мусковит, биотит и рутил. Скалните късове (кварцити, алевролити и аргилити) са по-редки. Циментът е от дребнозърнест калцит и малко глинесто вещество от контактно-поров тип, сред който се наблюдават единични заоблени глауконитни зърна и прерези от иноцерамуси. В зависимост от състава са определени като аркозови аренити.

Пясъчниците C-C3 от с. Садово са лититови ваки. Изградени са от около 70% кластичен компонент, неравномерно разпределен, несортиран, незаоблен до полузаоблен, с размери между 0,08 и 1,2 mm, преобладаващо 0,1-0,4 mm. Представен е главно от кварц и литити от кварцити, слюдени шисти, алевролити и аргилити, и подчинено количество плагиоклази, Кфелдшпат, мусковит и биотит. Матриксът е от по-дребни кварцови зърна с алевритни размери и глинесто вещество. Циментът е от прекристализирал калцит от базален тип, с единични заоблени зърна глауконит и редки прерези от иноцерамуси и криноидеи.



Фиг. 2. Микрофотографии на вулканити от района на селата Медвен и Садово: а – порфирни и субпорфирни плагиоклази; b – зонален плагиоклаз, карбонатизиран в периферните части; c – зонален авгит; d – авгит със зонално-секторен строеж, тип "пясъчен часовник"; e – карбонатизиран авгит със запазени реликти в централните части; f – амфибол със зонален строеж; g – карбонатизиран амфибол и миндала с хлорит; h, i – миндали запълнени с халцедон (CH_{LF} и CH-H_{LF}) и кварц. +N (фиг. a, b, d, e, f, g, i), II N (фиг. с, h)

При настоящите изследвания магматитите са определени като андезити и базалтови андезити. Андезитите са разпространени СИ от с. Медвен и С-СЗ от с. Садово. Те са тъмнозелени, сивочерни, с масивна, пореста миндална текстура, порфирна И гломеропорфирна структура. Изградени са от 40-50% фенокристали на плагиоклази, клинопироксени и амфиболи, акцесорен апатит и магнетит. Съотношението плагиоклази/мафични минерали е около 60/40. Вторичните минерали са дребнолюспеста бяла слюда (серицит), хлорит, кварц, албит, халцедон и карбонат. Плагиоклазите са зонални, в две генерации – порфири (около 0,2x0,6 mm) и субпорфири (0,06х0,15 mm), преобладаващи над порфирите (фиг. 2a,b). Заместват се частично от дребнолюспеста бяла слюда и хлорит. Някои съдържат включения от клинопироксени и акцесорен апатит. Клинопироксените са призматични, на места в гломеропорфирни струпвания, с включения от магнетит. Показват ясно изразен зонално-секторен строеж. тип "пясъчен часовник" (фиг. 2d). Те са сравнително свежи, до частично, по-рядко цялостно заместени от хлорит и карбонат, на места с отделени при промените Feхидроксиди (фиг. 2с,е). Амфиболите са зонални, призматични, сравнително свежи, ясно плеохроитни по схемата Z > Y > X. В периферните части по пукнатини, на места и цялостно, са заместени от карбонат и хлорит (фиг.

2f,g). Съдържат включения от плагиоклази и акцесорен апатит. В магменото тяло С-СЗ от с. Садово амфиболите са дългопризматични, с размери до 2x10 mm, субпаралелно ориентирани и взаимно пресичащи се. Въз основа количествените съотношения клинопироксени/ амфиболи, андезитите са амфибол-пироксенови и пироксен-амфиболови. пироксенови, по-рядко са Основната маса е от плагиоклази, вторичен кварц, прашести рудни минерали и девитрифицирано до микрозърнест агрегат вулканско стъкло. Характерни са миндалите (до 10%) със сферична, елипсоидна и неправилна форма, запълнени от периферните към централните части с халцедон СНLF и СН-НLF с микроритмичност и кварц (фиг. 2h,i). Други са запълнени самостоятелно или в комбинация с карбонат, халцедон, хлорит и кварц. Структурните особености на андезитите от района на с. Медвен предполагат субвулкански характер, което вероятно е причина за определянето им от някои автори като диоритови порфирити.

Базалтови андезити са установени С-СЗ от с. Садово. Те съдържат по-базични плагиоклази (анортитовото съдържание е над 50%), съотношението плагиоклази/мафични минерали е приблизително еднакво, а клинопироксените преобладават над амфиболите. Основната маса е с хиалопилитова и пилотакситова структура и е изградена от плагиоклазови микролити, голямо количество прашести рудни минерали и девитрифицирано вулканско стъкло, неравномерно заместено от глинести минерали, хлорит и карбонат. Наблюдават се и миндали, запълнени с калцит.

Таблица 1.

Химичен състав на избрани плагиоклази: с – ядро, r – периферия; ВА – базалтов андезит, А – андезит

Скала	BA			A				
Обра-	73-1-	73-1-	74-1-	74-1-	70-1-	70-1-	69-1-	69-1-
зец	18c	19r	12c	13r	7c	8r	1c	2r
SiO ₂	51,30	45,89	49,96	50,57	55,12	46,98	55,84	56,74
Al ₂ O ₃	29,78	33,66	30,86	30,31	26,31	32,68	24,76	23,72
FeO ^(t)	0,69	0,70	0,69	0,66	0,67	0,69	0,64	0,65
MnO	0,22	0,25	0,23	0,24	0,23	0,27	0,20	0,26
MgO	0,93	0,79	0,78	0,84	0,89	0,87	0,81	0,83
CaO	10,87	15,07	12,00	11,15	7,39	13,59	7,54	7,32
Na ₂ O	4,98	2,17	4,22	4,69	7,09	3,06	7,96	8,11
K ₂ O	0,44	0,32	0,42	0,48	1,07	0,48	1,10	1,21
BaO	0,77	0,69	0,71	0,81	1,01	1,02	0,96	1,07
Total	99,98	99,54	99,87	99,75	99,78	99,64	99,81	99,91
An	52,5	76,8	58,8	54,4	33,8	67,7	32,0	30,7
Ab	43,6	20,0	37,4	41,4	58,7	27,6	61,0	61,6
Or	2,5	1,9	2,5	2,8	5,8	2,8	5,5	6,1
Cn	1,4	1,3	1,3	1,4	1,7	1,9	1,5	1,6

Таблица 2.

Химичен състав на избрани амфиболи: с – ядро, r – периферия

Скала		В	A	А			
Образец	73-1-	73-1-	74-3-	74-3-	70-2-	69-2-	69-2-
	20c	21r	16c	17r	11r	3c	4r
SiO ₂	39,75	39,97	41,12	41,74	42,51	41,19	41,22
TiO ₂	1,52	1,63	2,22	2,16	2,33	2,40	2,84
Al ₂ O ₃	14,87	14,29	13,50	13,16	12,71	13,83	13,42
FeO ^(t)	13,71	13,36	11,24	10,96	10,19	10,26	10,16
MnO	0,34	0,36	0,33	0,32	0,31	0,31	0,38
MgO	13,35	13,46	13,83	14,08	14,70	14,36	14,53
CaO	10,71	11,27	11,34	11,43	11,26	11,37	10,89
Na ₂ O	2,22	2,02	2,69	2,96	2,91	2,97	3,16
K ₂ O	1,36	1,26	1,35	1,24	1,19	1,34	1,30
Total	97,83	97,62	97,62	98,05	98.11	98,03	97,90
Si	5.737	5.801	6.007	6.076	6.144	5.980	5.977
AI	2.263	2.199	1.993	1.924	1.856	2.020	2.023
Al ^{VI}	0.266	0.245	0.331	0.334	0.310	0.346	0.271
Fe ³⁺	1.483	1.293	0.612	0.486	0.517	0.529	0.620
Ti	0.165	0.178	0.244	0.237	0.253	0.262	0.310
Fe ²⁺	0.172	0.328	0.760	0.849	0.714	0.717	0.612
Mn	0.042	0.044	0.041	0.039	0.038	0.038	0.047
Mg	2.872	2.912	3.012	3.056	3.168	3.108	3.141
Ca	1.656	1.752	1.775	1.783	1.744	1.768	1.692
Na	0.621	0.568	0.762	0.835	0.815	0.836	0.888
K	0.250	0.233	0.252	0.230	0.219	0.248	0.240
Fe ³ /							
(Fe ³ +Fe ²)	0,89	0,79	0,45	0,36	0,42	0,42	0,50
Ma#	94.3	89.9	79.9	78.2	81.6	81.3	83.7

Хидротермални изменения. Хидротермалните изменения на скалите са неравномерно проявени, предимно в разкритията около с. Садово. Вторичните промени се изразяват в слабо изразена пропилитизация, характеризираща се с хидротермална минерална асоциация от хлорит, карбонат и албит, развита в основната маса. Клинопироксените са цялостно карбонатизирани, а амфиболите са хлоритизирани и карбонатизирани, със запазени реликти в централните части. В магменото тяло на около 4 km C-C3 от с. Садово, се наблюдава

58

хидротермално променена (аргилизирана) зона, в която базалтовите андезити са кафеникави, оцветени от Feхидроксиди. Основната маса е заместена от глинести минерали и хлорит, плагиоклазовите фенокристали са частично променени в глинести минерали, в по-малка степен в дребнолюспеста бяла слюда, а мафитите са сравнително свежи. Наблюдават се и окислени до Feхидроксиди сулфидни минерали с изометрична, по-рядко правоъгълна форма.

Химизъм на минералите. По състав плагиоклазите от района на с. Медвен са андезин (Ап_{30,7}- Ап_{33,8}), рядко лабрадор (Ап_{67,7}), а тези от района на с. Садово са побазични – лабрадор-битовнит (Ап_{52,5}-Ап_{76,8}) (табл. 1). Анортитовото съдържание постепенно се увеличава от андезитите към базалтовите андезити. Зоналността е нормална и обратна. В изследваните плагиоклази се наблюдава и известно количество ВаО, което е обратно пропорционално на анортитовото съдържание. При нормално зоналните плагиоклази количеството на ВаО нараства, а при обратно зоналните – намалява от централните към периферните части (табл. 1).

Таблица 3.

Химичен състав на избрани клинопироксени: с – ядро, r – периферия

Скала	BA				A			
Обра-	73-4-	73-4-	74-5-	74-5-	70-2-	70-2-	69-3-	69-3-
зец	22c	23r	14c	15r	9c	10r	5c	6r
SiO ₂	52,73	51,19	49,51	51,31	50,12	52,04	50,36	51,66
TiO ₂	0,27	0,36	0,43	0,25	0,47	0,28	0,45	0,36
Al ₂ O ₃	2,81	4,17	5,80	3,89	5,18	3,21	4,47	3,41
FeO ^(t)	6,43	7,27	8,75	7,38	6,06	6,41	6,87	7,03
MnO	0,51	0,49	0,43	0,50	0,34	0,53	0,40	0,51
MgO	15,26	14,49	15,66	14,45	14,88	15,99	15,25	15,33
CaO	20,70	20,28	17,51	20,59	21,30	19,90	20,28	19,71
Na ₂ O	0,87	1,02	1,00	0,94	0,89	0,85	0,85	0,94
K ₂ O	0,35	0,36	0,31	0,34	0,39	0,36	0,29	0,41
Total	99,93	99,63	99,40	99,65	99,63	99,57	99,22	99,36
Mg#	81,0	78,2	76,4	77,9	81,6	81,8	80,0	79,7
Wo	42,4	42,0	36,3	42,4	43,9	40,6	41,7	40,6
En	43,4	41,8	45,2	41,5	42,6	45,3	43,6	43,9
Fs	11,0	12,4	14,7	12,6	10,2	11,0	11,5	12,0
Ac	3,2	3,8	3,8	3,5	3,3	3,1	3,2	3,5

Според класификационната схема на Leake et al. (1997) амфиболите са калциеви. Във всички образци те са представени от магнезиохейстингсит (табл. 2, фиг. 3а). Наблюдава се известна разлика в химичния състав на централните и периферни части. Общата тенденция е за слабо увеличаване на SiO₂ и Na₂O към периферните части на кристалите. Mg# съотношение е сравнително високо – между 78,2 и 94,3, като най-високите стойности са в базалтовите андезити.

По класификацията на Morimoto (1988) клинопироксените са авгити, със сравнително малък размах в съставите си (табл. 3, фиг. 3b). Магнезиалното съотношение Mg# = 100Mg/(Mg+Fe) е между 76,4-81,8 и съответства на високи температури на кристализация. Зоналният строеж, установен при оптическите изследвания, се потвърждава и от химизма. Съставът на клинопироксените в андезитите е Wo_{41,7-43,9}En_{42,6-43,6} в централните части и Wo_{40,6}En_{43,9-45,3} в периферните. Средната величина на Mg# е 80,8, на Wo е 41,7, енстатитовата съставка е 43,9, а феросилита – 11,2.

Клинопироксените в базалтовите андезити са с Mg# между 76,4 и 81,0, Wo e 36,3-42,4, а En – 41,5-45,2 (табл. 3).



Фиг. 3. Класификационни диаграми: а) на Leake et al. (1997), с разположение на фигуративните точки на амфиболи; b) диаграма на Morimoto (1988), с фигуративни точки на клинопироксени от вулканити в района на селата Медвен и Садово

Петрохимични особености. На алкално-силициевата класификационна диаграма фигуративните точки на изследваните магмени скали са групирани в две ясно обособени полета - на базалтовите андезити и на андезитите (фиг. 4). Според диаграмите K₂O-SiO₂ вулканитите са среднокалиеви, с калциево-алкална сериалност (фиг. 5,6). Съдържанието на SiO₂ варира от 51.09 до 52.36% за базалтовите андезити и от 55.69 до 56,99% за андезитите (табл. 4). За част от образците количеството на SiO₂ вероятно е завишено, поради наличие на вторични SiO₂-фази (кварц и халцедон) в основната маса. Магматитите са високоалуминиеви (al' -1,16-1,43), слабо преситени на SiO₂, с нормативен кварц и хиперстен. Na₂O преобладава над K₂O. като съотношението K₂O/Na₂O е между 0,21 и 0,38.

Таблица 4.

Химичен състав (wt %) на магмени скали от района на селата Медвен и Садово; К/Na = K₂O/Na₂O;

 $PI=Na_2O + K_2O/Al_2O_3(mol)$

Образец	EB 45-	EB 46-	EB 45-	EB 43-	EB 42-		
	73	78	74	70	69		
Скала		BA		1	٩		
SiO ₂	51,09	51,59	52,36	55,69	56,99		
TiO ₂	0,77	0,92	0,85	0,83	0,74		
Al ₂ O ₃	16,05	17,60	16,14	16,12	16,44		
Fe ₂ O ₃ t	9,00	8,44	8,22	7,58	7,62		
MnO	0,16	0,12	0,18	0,10	0,14		
MgO	4,87	4,61	4,84	4,69	3,86		
CaO	10,51	9,02	9,40	7,37	6,18		
Na ₂ O	2,83	3,64	3,71	3,75	4,06		
K ₂ O	1,07	0,77	0,96	1,04	1,30		
P ₂ O ₅	0,25	0,22	0,23	0,28	0,27		
LOI	3,07	2,98	2,84	2,45	2,26		
Total	99,67	99,91	99,73	99,90	99,86		
K/Na	0,38	0,21	0,26	0,28	0,32		
al'	1,16	1,35	1,24	1,31	1,43		
Kf	64,9	64,7	62,9	61.8	66,4		
PI	0,36	0,39	0,44	0,45	0,49		

Пералкалният индекс варира в сравнително тесни граници (0,36-0,49), като по-високи са стойностите при

андезитите. Индексът на диференциация за базалтовите андезити е 38-43 и постепенно се увеличава до 49-55 в андезитите.



Фиг. 4. Алкално-силициева класификационна диаграма (по Le Bas et al., 1986) с разположение на фигуративните точки на вулканитите от района селата Медвен и Садово. В – базалт, ВА – базалтов андезит, A – андезит, ТВ – трахибазалт, ВТА – базалтов трахиандезит



Фиг. 5. Диаграма K₂O-SiO₂ за разделяне на вулканитите на ниско-К, средно-К и високо-К (по Le Maitre et al., 1989)



Фиг. 6. Диаграма на Рессегіllo, Taylor (1976). Серии: Серии: ТН – толеитова; СА – калциево-алкална; НКСА – висококалиево калциево-алкална

кристализация. Термобарометричните Условия на оценки са извършени въз основа химизма на плагиоклазамфиболови двойки. Използван плагиоклазe амфиболовият термобарометър на Anderson (1996), с температури по Blundy, Holland (1990) и Holland, Blundy (1994) и налягане по Schmidt (1992) и Anderson, Smith (1995). Температурите на кристализация на плагиоклазите и амфиболите от базалтовите андезити са малко повисоки от тези на андезитите, а налягането оценено на 1-3 kb е малко по-ниско (табл. 5).

Таблица 5.

Термобарометрични данни от амфибол-плагиоклазови двойки по плагиоклаз-амфиболовия термобарометър на Anderson (1996)

Скала	T° C	P kb
Базалтов андезит	819 – 909	1 – 3
Андезит	834 – 862	3 – 4

Заключение

Вулканитите от района на селата Медвен и Садово са под формата на единични субвулкански дайки и неголеми тела, разкриващи се сред горнокредни седиментни скали – пясъчници и гравелити на флишоподобната задруга. Според съвременната петрографска номенклатура, те са определени като амфибол-пироксенови, пироксенови, порядко пироксен-амфиболови андезити и базалтови андезити. Изградени са от плагиоклази (андезин-лабрадор, по-рядко лабрадор-битовнит), калциеви амфиболи (магнезиохейстингсит), авгит (със сравнително високи стойности на параметъра Mg#, съответстващи на високи температури на кристализация), акцесорен апатит и магнетит, и вторични – дребнолюспеста бяла слюда, хлорит, кварц, албит, халцедон и карбонат.

Вулканитите са среднокалиеви, с калциево-алкална сериалност и преобладание на Na₂O над K₂O. Те са високоалуминиеви, слабо преситени на SiO₂, с нормативен кварц и хиперстен. Пералкалният индекс и индексът на диференциация постепенно се увеличават от базалтовите андезити към андезитите.

Резултатите от оптическите изследвания и термобарометричните оценки за температурите на кристализация на плагиоклазите и амфиболите, дават основание да се предположи субвулкански фациес на андезитите от района на с. Медвен.

Благодарности. Авторът изказва благодарност на д-р Марлена Янева за съдействието при определяне на част от седиментните скали.

Литература

- Бакалов, П. Геология на Котленската околност. Сп. Бълг. геол. д-во, 13, 2, 1942. - 77-114.
- Банушев, Б. Нови данни за магматизма в района на Ришкия проход, Източна Стара планина. Год. МГУ, 56, I, 2013. 58-64.
- Банушев, Б. Петроложка характеристика на хипоабисалните магматити в района на Върбишка Стара планина. – *Год. МГУ, 57, I*, 2014. - 31-38, ISSN 1312-1820.
- Берегов, Р. Геология на южните склонове на Върбишкия дял на Източна Стара планина. – Год. Дир. прир. богатства. Отд. А, 2, 1942. - 89-107.

- Кънчев, И. Стратиграфия на южния тип горна креда в Източна Стара планина между прохода Вратник и Ришкия проход. – Изв. НИГИ, 1, 1964. - 69-95.
- Кънчев, И. Медитерански тип горна креда в Лудокамчийския дял на Източна Стара планина. – Изе. НИГИ, 3, 1966. - 15-71.
- Кънчев, И. Геоложка карта на България. М 1:100000. К. л. Сунгурларе. С., Комитет по геология и минерални ресурси, Геология и геофизика – АД. 1995а.
- Кънчев, И. Обяснителна записка към геоложка карта на България. М1:100000. К. л. Сунгурларе. С., Комитет по геология и минерални ресурси, Геология и геофизика -АД, 1995б. - 73 с.
- Кънчев, И., В. Иванова-Панайотова. Върху присъствието на триас и субинтрузивен магматизъм между селата Веселиново и Звезда, Източна Стара планина. – Сп. Бълг. геол. д-во, 33, 3, 1972. - 361-367.
- Anderson, J. L. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 87, 1996. - 125-138.
- Anderson, J. L., D. R. Smith. 1995. The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblende barometry. – *Amer. Mineral.*, 80, 549-559.
- Blundy, J. D., T. J. B. Holland. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104, 1990. - 208-224.
- Holland, T., J. Blundy. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 1994. - 433-447.
- Le Bas, M. J., R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali - Silica Diagram. – *Journal of Petrology*, 27, 1986. - 745-750.
- Le Maitre, R. W (ed). A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Oxford, Blackwell Sci Public., 1989. - 193 p.
- Leake, B. E. A. R. Woolley, C. E. S. Arps, W. D. Birch, M. C. Gilbert, J. D. Grice, F. C. Hawthorne, A. Kato, H. J. Kisch, V. G. Krivovichev, K. Linthout, J. Laird, J. Mandarino, W.V. Maresch, E. H. Nickel, N. M. S. Rock, J. C. Schumacher, D. C. Smith, N. C. N. Stephenson, L. Ungaretti, E. J. W. Whittaker, G. Youzhi. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and minerals names. *Canadian Mineral.*, 35, 1997. 219-246.
- Morimoto, N. Nomenclature of pyroxenes. *Forschr. Miner.*, 66, 2, 1988. 237-252.
- Peccerillo, A., S. R. Taylor. Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. – Contrib. Mineral. Petrol., 58, 1976. - 63-81.
- Schmidt, M. W. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-inhornblende barometer. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 1992. - 304-310.

Статията е рецензирана от проф. д-р Венелин Желев и препоръчана за публикуване от кат. "Минералогия и петрография".

СТРУКТУРА НА МЕТАМОРФНИТЕ СКАЛИ ОТ СЕВЕРНАТА ПЕРИФЕРИЯ НА МАНАСТИРСКИТЕ ВИСОЧИНИ, МЕЖДУ СЕЛАТА ИНЗОВО И ДРАМА, ЯМБОЛСКА ОБЛАСТ

Иван Димитров

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; idim68@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Северната периферия на Манастирските височини има блоково-разломен строеж, като в блоковете се разкриват метаморфни скали от различен генетичен тип и с различна възраст. Поради разпокъсаността на разкритията и обилното инжектиране с горнокредни базични магми, метаморфитите на този район не са били подложени на специализирани изследвания. По редица белези тези метаморфни скали могат да се разглеждат като източно продължение на метаморфната ивица на Светиилийските височини. Внимателен анализ на взаимоотношенията, показва, че в района е налице регионална ерозионна прекъснатост (несъгласие) между метаморфозираните гранити и мета-теригенните скали, които ги покриват. Тази прекъснатост може да се корелира с регионалната прекъснатост в основата на Триаса в Сакар, Светиилийските височини, между селата Бояново и Леярово, около Полски Градец и на други места в Югоизточна България. В тази работа се прави сравнителен анализ на геоложката структура на скалите, разположени под ерозионната прекъснатост и над нея. Извеждат се доводи за полиметаморфната и полидеформационната еволюция на метаморфния разрез..

STRUCTURE OF THE METAMORPHIC ROCKS FROM THE NORTHERN PERIPHERY OF THE MANASTIR HEGHTS, BETWEEN THE VILLAGES INZOVO AND DRAMA, IAMBOL DISTRICT

Ivan Dimitrov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; idim68@abv.bg

ABSTRACT. The northern periphery of the Manastir heights comprises faulted blocks, which contain metamorphic rock of different genesis and age. Because of scares exposure and the abundant saturation with Upper Cretaceous basic magmas these metamorphic rocks have not been studied in detail. They share a variety of common features with the metamorphic rocks from the western part of the Saint Ilija ridge and can be considered their natural continuation to east. Careful examination of the exposures shows that an erosional surface is present between the Paleozoic metamorphic granites and the meta-terrigenous rocks that cover them. This surface represents the regional inconformity in the base of the Triassic, exposed in Sakar and Saint Ilija ridges, between the villages of Boianovo and Leiarovo, around Polski Gradec and in other places in Southeast Bulgaria. In this work a comparison of the geological structure of the rocks below and above the unconformity is presented as well as arguments in favor of the polimetamorphic and polideformation evolution of the metamorphic section.

Увод

Изследваният район (фиг. 1) е в западната част на Странджанската зона в България, дефинирана и описана в редица работи на Г. Чаталов, С. Савов и др. (Чаталов (1990).



Фиг. 1. Ориентировъчна схема за местоположението на изследвания район.

В по-широк смисъл тя е част от Източното Средногорие (Dabovski et al., 2002), в която се разкрива пъстра мозайка от неметаморфозирани горнокредни и неогенски магмени, вулкански и седиментни скали и метаморфозирани скали с триаска, младопалеозойска и вероятна старопалеозойска до докамбрийска възраст. В още по-широк смисъл, съгласно идеята на Д. Яранов (1960), тя е част от пояса от ниско – метаморфни мезозойски и палеозойски скали, разкриващи се около високометаморфното ядро на Родопския масив.

Последният регионален метаморфизъм в този район може да бъде отнесен към края на Юрата и началото на Кредата. Това метаморфно развитие в значителна степен обяснява липсата на долнокредни седиментни и седиментно-вулкански скали, което се дължи на факта, че в края на Юрата и началото на Ранната Креда кулминацията на метаморфизма е довела до инверсия на релефа и планинообразуване, при което е денудиран дебел пакет от мезозойски наслаги.

В отличие от изследвания район, Долна Креда е запазена западно от Родопския Масив, където не е проявен горноюрският метаморфизъм. Поради липсата на ясно изразена тектонска граница между Родопския масив и Странджанската зона и регионалната природа на метаморфизма, без съмнение той е засегнал и част от високометаморфните скали на Родопския масив. Горноюрският метаморфизм е проявен с най-голяма интензивност в Сакар, където е наложен и върху високометаморфната мантия на Сакарския плутон и върху несъгласно покриващите я мезозойски седименти (напр. Чаталов, 1985а; Савов, 1988; Dimitrov, 2008). Обхватът на това метаморфно въздействие на запад OT Странджанската зона обаче е предмет на други изследвания.

В изследвания район (фиг. 2) метаморфните скали са инжектирани от горнокредни магми, поради което са разкъсани, блоково денивелирани, частично асимилирани и скарнирани (Панайотов, Иванова-Панайотова, 1956; Панайотов, 1966). Горнокредните скали не са съсредоточени само в пределите на Манастирския плутон (Каменов, 1969; Каменов, 1972), а са представени като помалки интрузии, дайки, щокове, силове, пакети от андезитови туфи, лави и брекчи и др. в цялата околност. Особено чести са диоритовите дайки, които импрегнират гъсто, и термално изпичат цялата догорнокредна подложка. Разкритостта извън издигнатата част на Манастирския плутон е лоша.

Всички разкрития на метаморфити са малки, привидно несвързани едно с друго. Значителна част от тези разкрития представляват изолирани блокове, които са включени като ксенолити сред горноредните магматити, поради което и не са показани на фигура 2. Въпреки своята изолираност, някои от разкритията съдържат важни вътрешни граници, деформационни структури и други индикации за последователността на наложените процеси, които позволяват реконструиране на цялостната еволюция на догорнокредния скален ансамбъл.



Фиг. 2. Опростена геоложка карта на северната периферия на Манастирските височини.

Геоложка изученост на метаморфитите

Възрастта на нискометаморфните скали от областта не е надеждно установена. Неоспоримо може да се счита датирането с вкаменелости на юрските и триаските карбонатни скали от западните Светиилийски височини, между селата Ботево и Инзово (Чаталов, 1962;, 1985б; 1990). Съществува обаче известна неяснота по отношение на триаските карбонати. Вкаменелостите, например тези намерени при връх Паметника край Ботево и северозападно от Инзово, са от карбонатен фациес, който се различава от този в северната периферия на Манастирските височини, между селата Миладиновци и Дряново (фиг. 2).

Датираните с вкаменелости карбонати са съвсем слабо метаморфозирани, калцитни, тъмни на цвят и с ясна седиментационна слоестост. От друга страна, карбонатите между селата Миладиновци и Дряново са интензивно метаморфозирани, доломитни и масивни. По всяка вероятност последните представляват рифов фациес. В тях не са намерени определими вкаменелости. Въпреки оскъдността на данните, по-вероятна е интерпретацията, базирана на работите на Чаталов (1962, 19856, 1990), а тя е, че мраморите, включително тези, които вместват северната скарновите находища от периферия Манастирските височини, са с триаска възраст.



Фиг. 3. Метаконгломерат с късов състав от кисели метавулканити, отложен върху интензивно нашистен гранит. Разкритието се намира до малкия язовир западно от пътя Инзово – Крумово.

Под мраморите следват метаморфозирани пясъчници, които локално преминават в кварц-слюдени шисти или в грубозърнести мета-аркози. С изключение на едно голямо разкритие в югоизточния край на площта от фигура 2, всички разкрития на мета-пясъчници са малки и изолирани. Преходът между метапясъчниците и мраморите не е наблюдаван. По-ниската стратиграфска позиция на мета-пясъчниците се предполага въз основа на корелация с Питовските пясъчници от разположените на запад Светиилийски височини (Чаталов, 1985б). Раннотриаската възраст на мета-пясъчниците в района на фигура 2 не е доказана.

В Светиилийските височини са установени метаконгломератни свити, които лежат стратиграфски под мета-пясъчниците и са интерпретирани от Чаталов (1965, 1985б, 1990) като палеозойски. Част от метаконгломератите там са прослоени с кисели мета-вулканити (Кавашки кисели метавулканити и Прохоровска лавопирокластична свита).

В изследвания район също се срещат метаконгломерати и метабрекчи (фиг. 3) с късов състав от гранити, зелени шисти и най-вече от кварц-порфири, фелзити и др. метаморфозрани кисели вулкански скали. Матриксът на кластичните скали е прекристализирал. Южно от село Инзово тези грубозърнести кластични скали се разкриват в непосредствена близост до коренни разкрития на метагранити, фелзити (фиг. 4), метакварпорфири и други кисели вулкански скали.

В две от разкритията южно от Инзово, метаконгломерати и мета-брекчи лежат директно върху метаморфозирания стар гранит. Поради това взаимоотношение и наличието на голям обем късове от кисели метавулканити, тези кластични скали могат да се корелират с метаконгломератите от местността "Черните Камъни", южно от Тополовград (Чаталов, 1985б), както и с редица други конгломератни разкрития от Западна Странджа и Тунджанското структурно понижение, които заемат сходна стратиграфска позиция.



Фиг. 4. Фелзит от разкритие южно от село Инзово.

Киселите вулканити, които преобладават сред късовия състав на метаконгломератите по всяка вероятност принадлежат на лавите, които са генетично свързани с палеозойския гранитен магматизъм. Те са били денудирани в края на вариската магматична епоха, вследствие на общото орогенно издигане и съпътстващата го ерозия.



Фиг. 5. Метаморфозиран гранит от разкритие южно от село Инзово.

В миналото, съгласно стратиграфската позиция на гранитите в тази област, тяхната възраст е интепретирана като карбонска (Чаталов, 1990; Кожухаров и др., 1994а,б и др.). Новите данни от съседни области на България и Турция (Okay et al., 2001; Мачев и др., 2013) указват, че гранитите са малко по-млади – Късен Карбон или Перм. За киселите вулканити в този случай остава вероятна пермската възраст, която е приета у нас в миналото (Чаталов, 1990), изцяло въз основа на стратиграфски данни. Палеозойските гранити, които условно се определят като карбонски или карбон-пермски, в изследвания район се различават по степен на деформация и химизъм. Разграничават се, както типични гранити с голямо количество видим кварц, така и гранодиорити или дори монцогранити (фиг. 5). Степента на деформация и метаморфна прекристализация в метагранитите, югоизточно от село Драма, е сравнима или надвишава тази на метагранитите от Южен Сакар, известни като Лесовски гнайс-гранити, които са преработени в амфиболит – епидотов фациес (Dimitrov, 1998, 1999). Поради твърде интензивната степен на метаморфна преработка и полифазните деформации, авторът не изключва вероятността част от гранитите да са по-стари от вариския магматогенен цикъл.



Фиг. 6. а) Геоложка скица на зеленошистните скали, разкрити западно от Крумово (Фиг. 2). На скицата са показани разкритията и част от измерените структурни елементи без да е направена интерпретация на геоложките граници. б) Стереограма на структурните елементи измерени в разкритията показани на геоложката скица.

Гранитите са внедрени в зелените шисти на Соколската свита (Чаталов, 1985а), която се смята за най-старата скална формация в района и е приета от някои автори (Василев, Савов, 1962) за аналог на диабаз - филитоидния комплекс от Западна България. Възрастта на тази свита не е известна. Приема се, че е старопоалеозойска, но е възможно да е и докамбрийска. Представлява метаморфозирана, базична, дълбокоморска вулканогенноседиментна последователност. Понастояшем представлява алтернатия от филити и по-грубозърнести зелени шисти, чиито вероятен протолит са базични туфи, туфити и турбидитни пясъчници. В подчинено количество се срещат субвулкански интрузии и лавови потоци, представени от албитофири и по-рядко от диабазови тела. В междупластията на метапясъчниците се установяват знаци на влачене. В разкритията, показани на фигура 6, се установяват и калкошисти, чиито протолити вероятно са били дистални карбонатни турбидити. Големи пакети от зелените шисти са заграбени като ксенолити сред гранита южно от село Инзово. В този район зелените шисти от мантията на гранитите заемат привидно сходна стратиграфска позиция. като на смятаните за докамбрийски скали на Жълтичалската свита от Сакар.

Жълтичалските шисти са инжектирани от Сакарския гранитен плутон. Сакарските гранити и Жълтичалските метаморфити са покрити от метаконгломерати, съдържащи обилни късове от метавулканити на пермския Мелнишки ортометаморфен комплекс, аналогични по състав на наблюдаваните в изследвания район конгломерати. Различията между Соколската свита и високостепенните метаморфити от Сакар са, че последните са по-пъстри по състав и по-интензивно метаморфозирани.

Структура на метаморфитите

В зависимост от тяхната деформационна история, метаморфните скали от областта могат да е поделят на две големи групи. В първата група са включени скали с една проникваща плоско-паралелна строежна форма (кливаж или фолиация). Във втората група са скалите с две проникващи плоскопаралелни строежни форми. Към първата група се отнасят доломитните мрамори, метаморфозираните кисели вулканити и метагранитите. Към втората група са отнесени скалите на Соколската свита – зелени шисти, филити, калкошисти, метапясъчници, албитофири и други преобладаващо зеленикави на цвят ниско-метаморфни скали. Върху шистозността на зелените скали най-често е наложен кренулационен кливаж, но в някои случаи се наблюдава и по-итензивен кливаж, маркиран от плоскопаралелна подредба на плочести фелдшпати, слюди и хлоритови люспи. В някои разкрития, по-късният кливаж се забелязва в мезомащаб, като е характерно гъсто напукване – кливаж на разлом.



Фиг. 7. Микрофотография и схематична блок-диаграма, илюстриращи структурните взаимоотношения в Соколската свита модифицирани след Dimitrov (2008). а) Микрофотография при кръстосати николи на зелени шисти. С непрекъсната черна линия е подчертан кренулационен кливаж, а с прекъсната линия е подчертана шистозността, която локално съвпада с литоложката слоестост. б) Блок диаграма, изобразяваща ранни полегнали гънки по литоложката слоестост, които са нагънати от по-късни изправени гънки. Късните изправени гънки нагъват не само литоложката слоестост, но и шистозността. Те съвпадат по ориентация, като са разминават само в шарнирите на ранните гънки. Късният кливаж потъва стръмно за разлика от шистозността.

Основните структурни взаимоотношения в зелените шисти са показани на фигури 6 и 7. Съгласно наблюденията в изследвания район, нашистяването има малки наклони и участва в полегнали гънки, заедно с литоложката слоетост (фиг. 66). В бедрата на тези полегнали гънки, слоистостта е приведена до паралелизъм с шитозността, като на много места се вижда, че шистозността е по-стръмна от слоестостта (Ivanov, 2000). Слоестостта и шистозността са нагънати едновременно от по-късните изправени гънки, с които вероятно е свързан кренулационният кливаж.

На фигура 6 са показани данни от разкрития, от които се вижда, че втората нагъвателна фаза формира изправени

гънки с шарнири ориентирани на северозапад и бедра, потъващи на североизток и югозапад. Тази геометрия съответства на основната макрогънкова геомерия на Светилийските височини (Цанков, 1983). Формирането на шистозността и нагъването (полягането) на шистозността, заедно със слоистостта, обаче предшества тази гънкова геомерия. Самият факт, че се разграничават две проникващи фолиации означава, че свързаните с тях гънки са разновъзрастни.

Допълнителните указания за полиметаморфна и полидеформационна история на метаморфитите са, както следва:

- Гранитите са внедрени в зелените шисти, като заграбват ксенолити от тях (напр. в разкритията южно от Инзово). В тези разкрития са заграбени продукти на регионален метаморфизъм. Зелените шисти от ксенолитите са с ясна метаморфна фолиация и дребни гънки, генетично свързани с тази фолиация. Следователно зелените шисти вече са били метаморфозирани, когато са разкъсани от гранита, който в последствие също е метаморфозиран.
- Нашистяването в мета-гранитите, западно от Крумово и югоизточно от Драма, е нагънато, като осите на гънките съответстват по ориентация на тази установена на фигура 6б.
- В метаконгломератите и метабрекчите се срещат късчета от зелени шисти, които са регионално метаморфозирани, докато в по-младите фрагменти на метаконгломерата, които са главно от кисели метавулканити, липсва шистозност.

Дискусия и изводи

Изложените теренни наблюдения показват, че зелените шисти са метаморфозирани и нагънати преди внедряването на гранитите и преди формирането на ерозионната повърхност върху гранитите. В последствие и гранитите, и всички по-млади от тях скали до кредата, са регионално метаморфозирани отново в края на юрата. Изправените гънки със "Светиилийска" ориентация на шарнирите (СЗ-ЮИ) са наложени, както върху ранните регионално метаморфни строежни елементи на зелените шисти, така и върху по-късните регионално метаморфни строежни елементи в гранитите, метаконгломератите и мраморите.

Установените в това изследване взаимоотношения не са изолирани за територията на Югоизточна България. Кливаж, по-стръмен от слоестостта, се наблюдава и на други места в Светиилийските височини, например в зелените шисти от околностите на Еленово, а също и в много разкрития от Странджа. Възможни са и наблюдения на шарнирите на лежащи гънки, като напр. в доломитните мрамори от кариерата при село Дядово.

Две проникващи фолиации (ранно нашистяване и покъсен кливаж), освен в Соколската свита от Светиилийските височини, се наблюдават и в нискометаморфната ивица между селата Вълча Поляна и Дервент, за която е установена старопалеозойска възраст (Lakova, 1992; Lakova et. al., 1992). Съществува неяснота по отношение на възрастта на наложения проникващ кливаж в зелените шисти на Соколската свита и другите старопалеозоски скали от Странджанската зона. Най-логично е да се предположи, че е резултат на горноюрско-долнокредната трансформация. Проблемът е, че разположените в съседство вариски гранити и триаски карбонати са преработени през Горната Юра от метаморфно въздействие и деформация, които са значително по интензивни от този кливаж. Нелогично е едно и също метаморфно въздействие да предизвика в зелените шисти само проникващ наложен кливаж, а в гранитите и мраморите интензивно нашистяване и прекристализация. Същевременно съвсем ясно е, че гранитите инжектират зелните шисти.

Остава нерешен въпросът и с възрастта на първия метаморфизъм, наложен върху зелените шисти. При всички случаи този метаморфизъм предшества вариския гранитен магматизъм, а съдейки по размаха и продължителността на интрузивната дейност може да се предположи, че метаморфното въздействие също е продължително.

Степента на метаморфизъм и деформация в различните разкрития на палеозойски скали от Странджанската зона варира значително. Например, в горнокарбонските седименти северно от Голяма Буково (Петрунова и др., 2010), практически не се установява метаморфно въздействие (слаб анхиметаморфизъм). Различната метаморфна еволюция на старо-палеозойските седиментни скали указва за разнороден генезис и съответно за алохтонна позиция в тази област, поради което опитите за корелация изглеждат нереалистични.

Литература

- Василев, Л., С. Савов. Върху присъствието на диабазфилитоидна формация с палеозойска възраст в западните отдели на Сакар-Странджанската област. – *Сп. БГД*, 23, кн. 3, 1962. - 344-348.
- Каменов, Б. Петрохимична характеристика на скалите от Манастирските височини. – Год. Соф. унив., Геол.геогр. ф-т, 61, кн. 1 – Геология, 1969. - 207-236.
- Каменов, Б. Петрология на Манастирския плутон. С., Автореф. на дис., 1972. 43 с.
- Кожухаров, Д., С. Савов, И. Боянов, Г. Шиляфов. *Геоложка карта на България в М 1:100000, картен лист Тополовград.* КГМР и Предприятие за геофиз. проучв. и геол. картиране. 1994а.
- Кожухаров, Д., С. Савов, Г. Чаталов, Е. Кожухарова, И. Боянов, Е. ЧелебиевОбяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100000, картен лист Тополовград. С., Болид, 1994б. 73 с.
- Мачев, Ф., Ганев, В., Клайн, Л. Нови данни за възрастта на гранитния магматизъм в Странджа планина (ЮИ България). В: Сб. разширени резюмета "Геонауки 2013", Бълг. геол. д-во, С., 2013. 39-40.
- Цанков, Ц. Алпийски деформации в Светиилийските височини. – Геотектоника, тектонофизика и

геодинамика, 16, 1983. - 19-42.

Панайотов, В., Иванова-Панайотова, В. Младата интрузия от Манастирските височини и свързаните с нея

орудявания. – Год. упр. геол. проучв., А, 6, 1956. - 221-230.

- Панайотов, В. Върху ролята на структурния и литоложкия контрол при локализиране на скарново-магнетитовите орудявания в района на Манастирските възвишения. – Изв. НИГИ, 3, 1966. - 93-107.
- Петрунова, Л., Димитрова, Т., Димитров, И., Маляков, Й. Нови палиноложки находки от Югоизточна Странджа планина. – В: Сб. разширени резюмета "Геонауки 2010", Бълг. геол. д-во, С., 2010. - 82-83.
- Савов С. Обзор строения Сакарской области. В "Линеаменты как структуры сочленения разновозрастных складчатых областей и их металогении". (Ред. Боянов Ив., Савов С., Грозданов С., БАН, 1988. - 98-114.
- Чаталов, Г. Триаските и юрски нискокристалинни шисти в източната част на Св. Илийските височини. *Тр. геол. Булг. сер. стратигр. и тектоника*, 4, 1962. 41-50.
- Чаталов, Г. Млад Палеозой в Светиилийските височини. Изв. Геол. инст., БАН, 14, 1965. – 107-134.
- Чаталов, Г. Принос към стратиграфията и литологията на Сакарския тип триас (Сакар планина, Югоизточна България). – Сп. БГД, 44, 2, 1985а. – 127-143.
- Чаталов, Г. Принос към стратиграфията и литологията на палеозойските и триаските скали в Светиилйските височини. Сп. БГД, год. XLIV, 19856. 53-70.
- Чаталов, Г. Геология на Странджанската зона в България. С., БАН, 1990. – 263 с.
- Яранов, Д. Тектоника на България. С., Техника, 1960. 282 с.
- Dabovski, C., Boyanov, I., Khrischev, K., Nikolov, T., Sapounov, I., Yanev, Y., Zagorchev, I. Structure and Alpine evolution of Bulgaria). – *Geologica Balc.*, 32. 2-4, Sofia, 2002. – 9-15.
- Dimitrov, I. Heterogeneous deformation in the Radovets body of Lessovo gneiss-granites. – Geoch. Miner. and Petrol., BAS, 35, 1998. – 55- 69.
- Dimitrov, I. Internal structure of the meta-granitoids in Sakar region, Southeastern Bulgaria. – *Geologica Balcanica*, 29, 1-2, 1999. – 111-124.
- Dimitrov, I. Suprastructure of the metamorphic terrains in South Bulgaria. Ann. UMG "St. Ivan Rilski", Vol., 51, Part I, Geology and Geophysics, 2008. – 91-96.
- Lakova, I. Upper Ordovician to Llandovery land plant spores and acritarchs from the Dervent Heights, SE Bulgaria. -*Geologica Balcanica*, 22, 1, 1992. – 88.
- Lakova, I., P.M., Gochev, S.N. Yanev. Palynostratigraphy and geological setting of the Lower Paleozoic allochthon of the Dervent Heights, SE Bulgaria. – *Geologica Balcanica*, 22, 6, 1992. - 71-88.
- Ivanov, I. Overturned stratification in the green rocks from the Southeastern periphery of Svety Ilija Ridge. – In: Geological Conference - Bulgarian Geology on the threshold of 21st century. Sofia, 2000. - 145-146.
- Okay, A. I, M. Satir, O. Tüysüz, S. Akyüz, F. Chen. The tectonics of the Strandja Massif: late-Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. – Int. J. Earth Sci., 90, 2001. - 217–233.

Статията е рецензирана от доц. д-р Валери Валентинов Сачански и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и геоинформатика".

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОЛЪЧЕВИ СОНАРНИ СИСТЕМИ В ГЕОЛОЖКОТО КАРТИРАНЕ НА ДЪННИТЕ СЕДИМЕНТИ В КРАЙБРЕЖНАТА ЗОНА ПРЕД ПЛАЖ ПАША ДЕРЕ, СЕВЕРНО БЪЛГАРСКО ЧЕРНОМОРИЕ

Богдан Проданов, Любомир Димитров

Институт по океанология "Фритьоф Нансен", БАН, 9000 Варна, E-mail: bprodanov@io-bas.bg, geos@io-bas.bg

РЕЗЮМЕ. С приемането на Република България в Европейския Съюз, страната ни пое редица обвързващи ангажименти, произтичащи от действащи директиви на европейско ниво. "Рамкова директива за местообитанията", "Рамкова директива за водите" и "Рамкова директива за морска стратегия" ангажират с комплексно картиране на сухоземните и акваториално-морските участъци на страната. Това налага системно проучване и комплексно изследване на Българския сектор от Черно море, като геоморфоложкото и геоложко картиране на морското дъно се явяват първостепенна задача от национално значение. През последните десетилетия човешкото въздействие върху морската околната среда достига безпрецедентни нива. За да се улесни интегрираното управление на морската околна среда и да се оптимизира морското пространствено планиране, с цел смекчаване на тези въздействия, е необходимо да се подобри нашето разбиране относно морското дъно. Съвременните многолъчеви сонарни системи предлагат възможности за прецизност и висока разделителна способност на данните, необходими при пространствения анализ на подводния релеф и литоложките разновидности на дъното. Тези проучвания са иновативни за Република България и навлизат в практиката с бързи темпове, като представените в настоящата работа резултати, потвърждават нуждата от широкото им приложение в морското геоложко картиране и картографиране. Настоящият доклад представя данни от приложението на многолъчева сонарна система (MCC) Seabat7111 с цел геоложко картиране в бреговата зона пред плаж Паша Дере (северно Българско Черноморие). Използваните данни обединяват сонарни мозайки, данни от еднолъчеви и многолъчеви батиметрични изследвания и растерни сателитни изображения, обработени софтуерно в PDS 2000, SonarWiz и Географски информационни системи (ГИС). Получените резултати отразяват първия етап от геоложкото картиране на подводната част от бреговата зона в упоменатия район. Създаден е цифров модел на подводния релеф пред плаж Паша Дере и въз основа на него е построена високоточна батиметрична карта с интервал между изобатите от 0,5 m. Определени са прогнозни граници на дънните литоложки разновидности по техните физически характеристики.

Ключови думи: Черно море, континентален шелф, морфо-литоложко зониране, многолъчева сонарна система, ГИС

APPLICATION OF MULTIBEAM ECHO SOUNDING SYSTEMS IN SEABED GEOLOGICAL MAPPING. CASE STUDY: PASHA DERE COASTAL ZONE, NORTHEN BULGARIAN BLACK SEA Bogdan Prodanov, Lyubomir Dimitrov

Institute of oceanology "Fridtjov Nansen", BAS, 9000 Varna, E-mail: bprodanov@io-bas.bg, geos@io-bas.bg

ABSTRACT. With the adoption of Bulgaria in the European Union, our country took the binding commitments arising from existing European directives. Natura 2000, "EU Water Framework Directive", "EU Habitats Directive" and "Marine Strategy Framework Directive" engage with complex mapping of terrestrial and marine areas of the country. This requires systematic study and complex exploration of the Bulgarian Black Sea waters, such as geomorphological and geological mapping of the seabed, which makes it a national priority. Human impact on the seafloor environment have reached unprecedented levels and in order to facilitate integrated management of the marine environment, as well as to optimize marine spatial planning and introduce mitigation activities, there is a need of improvement of our understanding of the seabed. Multibeam sonar systems offer opportunities for precision and high resolution of data aquisition required in the analysis of underwater topography and lithological varieties of the seabed sediments. Application of such studies is innovative for Bulgaria, but rapidly put into practice, and the discussed results confirm the need for their wide implementation into marine geological mapping. The present study considers the application of multibeam echo sounding system Seabat7111 for seabed geological mapping of the coastal zone in the area of Pasha Dere beach (North Bulgarian Black Sea). The used data combine sonar mosaics, singlebeam and multibeam bathymetric data and raster satellite images, processed in PDS 2000, SonarWiz and GIS environment. The results present the initial phase of geological mapping of the study area. A high resolution digital terrain model (DTM) of the seabed in front of Pasha Dere beach is created serving as basis for building of high accuracy bathymetric map with 0.5 m isobaths spacing. Boundaries of underwater lithological varieties based on physical characteristics are determined.

Key words: Sea, coastal zone, lithological varieties, Multibeam Echosounder System, GIS

Въведение

Основна част от информацията при изследване на моретата и океаните се придобива чрез картиране на морското дъно. Понастоящем необходимостта от разнообразни карти на морското дъно с различна насоченост (геоморфоложки, геоложки, на рискови фактори, на дънни хабитати, потънали обекти и др.), интегрирани с други елементи на околната среда, изготвени на съвременно ниво и с използване на иновативни технологии, непрекъснато нараства. Като основа за всички тези карти, служи картата на дълбочините на морското дъно или т.н. батиметрична карта. Уредите за картиране и получаване на изображения на морското дъно използват физичните особености на звука. Това са т. н. сонарни системи (Sound detection and ranging). Звуковите вълни, възпроизведени от тях, се отразяват от дъното и обектите, които лежат на него, обратно до сонара, като получената информация се визуализира чрез специализиран софтуер. Снабдени с GPS, тези устройства позволяват картиране на големи площи от морското дъно. Комплексното картиране на морското дъно със съвременни сонарни системи има широко приложение в морската, нефтена и газова промишленност, телекомуникационните компании, хидротехническото строителство и други.

Най-ранните техники за измерване на дълбочината във водата са доста опростени (въжета или кабели с тежест). В океански и речни басейни се появяват неточности поради деформации от подводни течения и движението на плавателни съдове. Като друг важен недостатък може да се отчете и невъзможността за точно позициониране, което е основен фактор за коректността в картирането на морското дъно. След 1950 г. тези неточни техники са заменени с използването на скоростта на звука във водата, като звуковият импулс от кораба се отразява от дъното и се връща в приемника на плавателния съд. Става възможно и разширяване на обхвата на ехолотите до 60°, като това е иновативно за хидрографските изследвания и дава възможност за по-детайлно проучване на дъното. След 1960 г. морското картографиране се превръща в актуална дейност. Главната причина е появата на многолъчевите ехолоти (ME). Първите изследвания с ехолоти са проведени в периода между 60 и 80-те години на миналия век, отразени например в научни трудове на Tucker (1961), Tucker, Henderson (1960) и други.

Една от първите статии за многолъчеви сонарни системи (MCC) е на Glenn (1970). Авторът описва оперативна МСС (Multi-Beam Array Sonar Survey System), приложена от армията на САЩ за дълбоководни океански проучвания. Лъчите се генерират с помощта на електронна матрица, използваща постоянно захранване, което дава възможност за комплексна обработка на данни в реално време. Интегриран е жирокомпас с цел компенсация на неточностите при разпространението на лъчите и движението на кораба. Това е първата възможност за създаване на контурни карти в реално време. Burke, Robinson (1975) описват първия многолъчев ехолот за проучвания в плитки води "Bo`sun" (военноморски жаргон за боцман). Системата е развита до формирането на 21 лъча под плавателния съд. Покритието на дънното е 2,6 пъти по-голямо от дълбочината, на която се намира излъчвателят или 105 m. Работната честота е 36 kHz, с максимално проучване до дълбочина от 800 m Използвана е в Bedford Basin, поради нарастващата нужда от проучване на плитките канали, през които преминават танкери. Като недостатък на системата се изтъква невъзможността от достатъчно захранване, водещо до загуба на изчислителна мощност (Burke, Robinson, 1975; Vilming, 1998).

След огромния скок в микроелектрониката и компютърните технологии през 90-те г. на XX век, технологичното развитие на сонарните системи и приложението им в океанографските проучвания нарастват значително и започва въвеждането им в масова употреба и налагането им като стандарт за хидрографски проучвания.

Съвременно състояние на Многолъчевите сонарни системи

Информацията за построяване на батиметричните карти, получена само по профили чрез конвенционални, еднолъчеви ехолоти, не отговаря на критериите на съвременното картиране. При този подход, колкото и гъста да е профилната мрежа, остават неизследвани области между отделните профили, за които се налага интерполиране на данните. Нововъведенията в цифровите техники и технологи за картиране на ивици от морското дъно с определена ширина (swath bathymetric mapping) позволяват цялостно покриване на района на изследване. Така наречените многолъчеви ехолоти (multi beam echo sounders) дават комплексна картина на морското дъно. Освен дълбочините, от получените данни може да се извлече разнообразна информация за типа на дънните седименти, за различни обекти на повърхността на дъното от изкуствен и естествен произход и редица други явления, оставащи непознати при предишни изследвания с конвенционални ехолоти. С тези си качества МЕ придобиват първостепенно и решаващо значение в почти всички сфери на съвременните изследвания на морското дъно.

Странично-сканиращи сонарни системи (ССС)

За разлика от МСС, тяхното приложение е в получаването на акустична картина (изображение) на дъното. Възможността за получаване на различни по физични характеристики (цвят, размер и положение) разновидности, ги прави задължителни при проучването на геоложките процеси и характеризирането на литоложки разновидности (Zajac et al., 1995; Barnhard et al., 1998; Cochrane, Lafferty, 2002). Предпоставка за приложението на ССС са различните отражателни характеристики на дъното в изследваните акватории. За плътни разновидности (например метал, камъни, чакъли, едър пясък и други), поради характера си, се появяват като тъмни области в сонарните изображения. Обратно, райони с меки или неспоени седименти, се изобразяват в по-светли нюанси.

Понастоящем многолъчевите сонарни системи. интегрирани с локатор за страничен обзор се утвърждават като най-добра практика и основно средство за получаване на високо точни батиметрични и сонарни данни, основа на изучване на геоложки процеси, картиране на седимента като база на дефиниране на местообитания (Kostylev et al., 2001; Brown, Blondel, 2009; Che Hasan et al., 2012; Rattray et al., 2015). При археологическото проучване МСС се използват за локализиране на обекти и придобиване на представа за формата, размера, разположението и др. Начални сведения за прилагането на еднолъчеви системи с цел батиметрично картиране, като основа на геоложкия строеж и геоморфоложкото зониране на Българския шелф са правени главно преди 1990г. от българо-съветски екипи (Геолого - геофизические..., 1980; Геологическая ..., 1990).

Настоящият доклад има за цел да представи използването едновременно на многолъчева сонарна система и странично-сканиращ сонар (Multibeam Echosounder System SeaBat 7111), като основно средство за пълно, високо точно батиметрично картиране на дъното и отделяне на разновидности по физически характеристики (цвят, положение, размер и форма). Представена е първата стъпка от геоложкото картиране, а именно съставянето на цифров модел на дъното и отделяне на прогнозни литоложки разновидности в крайбрежната зона пред плаж Паша дере (Централно Българско черноморие).

Характеристика на района.

Географски, той се намира на 7 km южно от нос Галата (Варненски залив) пред плаж Паша дере (Фиг. 1) с дължина на бреговата линия около 3,4 km. В дълбочина северната и южната граница са почти успоредни една на друга, с направление североизток – югозапад и дължина приблизително 2 km. Най-източната част на района е границата между прибрежната зона и централната шелфова зона, като дълбочината е около 23 m.



Фиг.1. Схема на местоположението на изследвания район.

Методика на изследването

В периода от 2009 до 2013 г. районът е проучван детайлно по различни задачи (проучвателни, геотехнически, мониторинг на екологичното състояние на дъното). При заснимането на дъното за настоящото изследване са използвани МСС "SeaBat7111" (Marine Seabed..., 2013), Многолъчев ехолот "MB1 Teledyne Odom Hydrographic", странично-сканиращи сонари "Side Scann Sonar StarFish 450H" и "Klein-3000.

Пост-обработката на използваните данни е подчинена на генериране на цифров модел на дъното за определяне на морфоложките условия, сонарни мозайки за дефиниране на прогнозни литоложки разновидности. По-долу са представени етапите в пост-обработка, а именно:

Получаване на цифров модел на дъното

При обработката на данните от многолъчева сонарна система и странично-сканиращ сонар (Multibeam Echosounder System SeaBat 7111) е използван програмния продукт PDS2000. Представени са основните етапи при генерирането на цифровия модел.

- Първичната обработка на данни от позиционирането се състои от следните етапи:
 - Анализ на регистрирани данни от всички устройства за позициониране (GPS-приемник, жирокомпас, датчик за динамичните движения), отхвърляне на некоректни измервания и филтрация на данни.

Процедурата се изпълнява от програмен продукт PDS2000 RowDataAnalyze;

- Експортиране на данни от PDS2000 във файл ASCII;
- Проверка на експортираните данни;
- Графично изобразяване на позициите на регистриращите устройствата.
- Първичната обработка на данни от MCC (Multibeam Echosounder System SeaBat 7111) се състои от:
- Филтрация и първична обработка на данните от MCC. Тази процедура завършва с отстраняване на грешно измерените дълбочини;
- Оценка изменението на покритието и плътността на данните след филтрацията;
- Изграждане на предварителен цифров модел на дънния релеф.

Основните цели на първичната обработка са: оценка на плътността на събраните данни и подготовка на данните за последваща обработка. При липса на корекции в предварителния цифров модел на дънния релеф, се преминава към втория етап на обработката:

- Въвеждане на корекции за морското ниво;
- Разпределение на грешката според дълбочината;
- Изграждане на коректен цифров модел на релефа на дъното;
- Създаване на високо точни батиметрични карти.

Получаване на сонарна мозайка на дъното

За построяването на мозайка на отразителната способност на морското дъно, първоначално се експортират данните от функцията на локатора за страничен обзор, съвместно със сонарната система, в програмата PDS2000 във файлове тип XTF с резолюция 0,5 m на пиксел. За получаване на качествена картина на акустичното изображение са използвани няколко усилвания за изобразяване на маломащабни (локални) неравности на дънната повърхност. т.е. отделно намираши се обекти (валуни и антропогенни обекти), които се локализират в зоната на заснимане със страничносканиращ сонар. Това е индикация за постигане на добър резултат при изобразяване на отразения сигнал. Получената подробна сонарна мозайка, с резолюция от 0,5 т на пиксел, позволява отделяне на литоложките разновидности по физически характеристики.

Резултати и интерпретация

Представената интерпретация е основана на литературен обзор на литоложки и зърнометрични проучвания в района, на който се стъпва при прогнозирането на литоложките разновидности.

Съчетанието между получения цифров модел на дъното и сонарните мозайки с резолюция от 0,5 m, дава възможност за отделяне на прогнозни литоложки разновидности, съобразени с морфо-литоложките условия пред плаж Паша дере.

В локално тектонско отношение районът попада в южната част на Варненската моноклинала, известна като

Варненска депресия. Структурно, тя е в рамките на източната част на Мизийската платформа, оформяща

северната част на Камчийския подбалкан (Крыстев, Михова, 1990).



Фиг.2. Цифров модел на релефа на дъното пред плаж Паша дере (дълбочината е отразена чрез изобати със стъпка от 2 м

Изследваният участък е локализиран до дълбочини 23 m, обхващащ прибрежната зона и част от вътрешната депресия геоморфоложки аспект. Литоложки, в прибрежната зона се характеризира с холоценски седименти, които са в тясна връзка с геоложкия строеж на прилежащата суша (Димитров, 1979). Те са представени от разнообразни по зърнометричен състав пясъци, песъчливо-тинести и тинести материали, примесени с черупчест детритус, като преобладава едрозърнестата пясъчна фракция с добра сортираност на зърнометричния състав с ерозионно-теригенен произход (Керемедчиев, Пейчев, 2003; Керемедчиев, 2004; Коцев, Керемедчиев, 2012; Трифонова и др., 2013; Prodanov et al., 2014). На дълбочина от около 20 m преминава границата между пясъчния материал и алевритите (Пейчев, Димитров, 2012).

Цифровият модел на дъното пред плаж Паша дере (фиг. 2), потвърждава трисклонния релеф в прибрежната зона Cherneva, 2000), c (Keremedchiev, доминиращи абразионно-структурно-свлачищен и акумулативен типове подводен релеф (Керемедчиев, 2004; Коцев, 2014). На фигура 3, по физически характеристики (цвят, форма и дълбочина), съобразени с гореспоменатите литоморфоложки условия в района, са отделени литоложки разновидности с прогнозен състав. При дълбочини 22÷23 т ясно се дефинира границата по физически характеристики между пясъчен и тинест субстрат (фиг. 3). Пясъчният субстрат е обособен между 4 и 22 m, характеризиращ се като възможен едър пясък, поради тъмния цвят на сонарната мозайка. Срещат се петна с посветъл нюанс в сонарната мозайка, което свидетелства за неспоеност на материала. Обвързването между цвят, форма и вдлъбнатини на релефа (фиг. 2,3), дава възможност за обособяване на зони със *средно-* до *дребнозърнест пясък*. Въз основа на комбинация между сонарни мозайки и сателитни изображения с висока резолюция, са фиксирани *скали* на Галатската свита на дълбочини до 14 m, разположени успоредно на брега (фиг. 3).

Неподелени пясъци и по-едри седименти са разположени до дълбочини от около 5 m, в границите на най-активния в хидродинамично отношение подводен склон. Локализирането им е на основата на сателитни изображения, а за характера на тези отложения се съди по литературни данни (Керемедчиев, 2004; Коцев, Керемедчиев, 2012; Трифонова и др., 2013).

Изводи и заключения

В резултат на проведеното изследване с многолъчева сонарна система, обвързано с допълнителни данни, са изготвени:

- 1. Цифров модел на релефа на дъното пред плаж Паша дере с интервал между изобатите 0,5 m, база за високо точна батиметрична карта (фиг. 2).
- Литоложка карта с прогнозен характер на седимента в крайбрежната зона пред плаж Паша дере в мащаб 1:15000 (фиг. 3), като пространствено са представени възможните литоложки разновидности.
- 3. Дефинитивна граница между пясъчния и тинестия субстрат, варираща между 20 и 23 m дълбочина.
- 4. Пространствено разпределение на скалните образувания в прибрежната зона до 14 m дълбочина.



Фиг. 3. Литоложка карта с прогнозен характер на седимента в крайбрежната зона пред плаж Паша дере в мащаб 1:15000.

Литература

- Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. Сб. Доклади, БАН, С., 1990, 666 с.
- Геолого-геофизические исследования Болгарского сектора Черного моря. С., БАН, 1980, 318 с.
- Димитров, П. Особености в състава и разпределението на дънните наслаги от черноморския шелф между носовете Калиакра и Емине. С. *Океанология 5*, С., БАН, 1979, - 22-33.
- Керемедчиев, Ст., В. Пейчев. Геоморфодинамичен анализ на бреговата зона между н. Галата и Сакъма дере. В: Окончателен доклад. Научен фонд на Институт по Океанология "Фритъоф Нансен"-БАН, В, 2003, - 35 с.
- Керемедчиев, Ст. Геоморфоложки анализ на бреговата зона на Авренското крайбрежие. В: *Проблеми на географията*, 3-4, БАН,С., 2004 -126-134.
- Коцев, И. Структура, динамика и райониране на Черноморската крайбрежна зона между нос Калиакра и нос Емине. Дисертация за присъждане на образователно-квалификационна степен "Доктор", Институт по океанология-БАН, В, 2014, - 303 с.
- Коцев, И., Ст. Керемедчиев. Съвременна ландшафтна структура на подводния брегови склон пред плаж Паша дере (Авренска брегова зона, Българско Черноморско крайбрежие). В: Научни трудове на ВВМУ "Н. Й. Вапцаров", ISSN 1312-0867, 30, 2012, - 103-106.
- Крыстев, Т., Е. Михова. Рельеф и тектоника Болгарского шельфа. В: Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время, С., БАН, 1990 - 392-431.
- Пейчев, В., Д. Димитров. Строеж на океански и континентален тип земна кора. В: *Океанология*, Изд. Онгъл, В., 2012, - 376-401.
- Трифонова, Е., Ст. Керемедчиев, И. Коцев. Седименти. В: Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ). Договор № 0-33-18 / 12.06.2013, В., Научен фонд на Институт по Океанология "Фритъоф Нансен"- БАН, В., 2013,- 43-76.
- Barnhardt, W.A., J.T. Kelley, S.M. Dickson, D.F. Belknap. Mapping the Gulf of Maine with side-scan sonar: A new bottom-type classification for complex seafloors. In: *Journal* of Coastal Research 14(2), 1998. - 646-659.
- Brown, C.J., P. Blondel. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping". In: *Applied Acoustics*, 70(10), 2009. - 1242-1247.
- Burke, R., J. Robson. International Hydrographic Review 52 (2), 1975, 53-69.

- Cochrane G.R., K.D. Lafferty. Use of acoustic classification of side-scan sonar data for mapping benthic habitats in the Northern Channel Islands, California. In: *Continental Shelf Research.* 22, 2002, - 683-690.
- Che Hasan, R., D. lerodiaconou, L. Laurenson. Combining angular response classification and backscatter imagery segmentation for benthic biological habitat mapping. In: *Estuarine Coastal and Shelf Science* 97, doi: 10.1016/j.ecss.2011.10.004; 2012. - 9 p.
- Glenn, M. R. International Hydrographic Review 47 (1), 1970. -35-39.
- Keremedchiev, St., Ch. Cherneva. Geomorphological classification of profile type along the Bulgarian Black Sea Coast, B: Доклади на БАН, т.53, №12, Раздел Геология, 2000, 69-72.
- Kostylev, V.E., B.J. Todd, G.B.J. Fader, R.C. Courtney, G.D.M. Cameron, R.A. Pickrill. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. In: *Marine Ecology Progress Series* 219, 2001, - 121–137.
- Marine Seabed Habitat Baseline Study. In: South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report, Environmental Impact Assessment, 2013, - p.44 (available at http://www.southstream-offshore.com)
- Prodanov, B., I. Kotsev, L. Dimitrov. Seascape-based Modeling of Benthic Habitats Spatial Distribution. Case Study: Avren Plateau Sublittoral Zone, Bulgarian Black. In: Proc. 12th Int. Conference on Marine Science and Technology "Black Sea", ISSN 1314-0958, Varna, 2014, - 175-182.
- Rattray, A., D. lerodiaconou, T. Womersley. Wave exposure as a predictor of benthic habitat distribution on high energy temperate reefs. In: *Front. Mar. Sci.* 2, 2015. - 1–14.
- Tucker, M. J. International Hydrographic Review 38 (2), 1961, -25-32.
- Tucker, D. G., J. G. Henderson. International Hydrographic Review 37 (1), 1960, 69-78.
- Vilming, S. The Development of the Multibeam Echosounder: A Historical Account Review. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(5), DOI: 10.1121/1.422177, 1998, - 637-1638.
- Zajac, R. N., E. King, J. Dowgiallo, S. Wilson, R. Lewis, L.J. Poppe, J. Vozarik. The use of side scan sonar and other imaging methods to assess sea floor habitats and associated benthic communities in Long Island Sound, In: *Geological Society of America, Northeastern Section, 30th annual meeting*, 27(1), 1995, - 94 p.

Статията е рецензирана от доц. д-р Стоян Керемедчиев – ИО-БАН.
МОРФО–ЛИТОЛОЖКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ШЕЛФА ПРЕД АВРЕНСКОТО КРАЙБРЕЖИЕ

Богдан Проданов, Любомир Димитров

Институт по океанология "Фритьоф Нансен", БАН, 9000 Варна, E-mail bprodanov@io-bas.bg, geos@io-bas.bg

РЕЗЮМЕ. Развитието на технологиите за проучване на океанското дъно дава възможност за по-детайлно зониране на Българския континентален шелф. В морфоложки аспект шелфът е изучаван интензивно преди 1990 г. съвместно от български и съветски екипи. Тези изследвания са осъществявани основно за характеризиране на лито-морфоложките условия в регионален мащаб. Съчетаването на данни от съвременни изследвания с модерни технологии на шелфа и фактически материали от научния фонд на Института по океанология "Фритьоф Нансен" позволи актуализиране и детайлизиране на морфоложкото зониране на шелфа пред Авренското крайбрежие. Използвани са данни от заснемане на дъното с многолъчева сонарна система (МСС) Seabat'7111 с 100% покритие на изследвания район. Това са батиметрични данни с високо разрешение за построяване на цифров модел на релефа на дъното и интензивност на отражателната способност от дънните седименти, обединени в сонарни мозайки за определяне на литоложките разновидности. Направена е верификация на полигоните с различна отражателна способност чрез опробване на дънните седименти в 141 станции, на които е направен стандартен седиментоложки анализ (гранулометрия, карбонатно съдържание и органично вещество). Данните от седиментоложките анализи са обработени с програмата GradiStat и са приведени в единна класификационна схема. Всички данни са обединени в база данни и са анализирани в среда на Географски информационни системи (ГИС). По цифровия модел на релефа на дъното е построена високоточна батиметрична карта с интервал между изобатите от 0.5 m, по която са определени границите на различните морфоложки зони на шелфа. По данните от отражателната способност и геоложкото опробване са определени границите на различните литоложки разновидности на дънните седименти по техните физически характеристики. Построената морфо-литоложката карта отразява съществено детайлизиране в характеризирането на шелфа, особено на крайбрежната зона във връзка с активния й хидродинамичен характер. Очертани са и са литоложки охарактеризирани: прибрежната зона, подложена на активно вълново въздействие; зоната на забележимо въздействие на вълните върху дъното, определена по образуваните пясъчни вълни и форми на провлачване; очертани са границите на прибрежната депресия и нейния талвег; морфо-литоложки са дефинирани Калиакренският акумулативен вал, шелфовата равнина и периферната шелфова тераса.

Ключови думи: Черно море, континентален шелф, морфо-литоложко зониране, многолъчева сонарна система, ГИС

MORPHO-LITHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SHELF IN FRONT OF AVREN COAST, BULGARIAN BLACK SEA Bogdan Prodanov, Lyubomir Dimitrov

Institute of oceanology "Fridtjov Nansen", BAS, 9000 Varna, E-mail bprodanov@io-bas.bg

ABSTRACT. Development of technologies for ocean floor exploring allows more detailed zoning of Bulgarian Black sea margin. Before 1990, Bulgarian shelf was studied intensely by both Bulgarian and Soviet teams for characterization of morpho-lithological conditions on a regional scale. Combining the results of contemporary shelf explorations and archive materials from the Institute of Oceanology "Fridijov Nansen" allows detailed update of seabed relief of the shelf in front of Avren coast with respect to morphological zonation. The contemporary data are from seabed survey conducted with SeaBat 7111 Multibeam Echosounder System (MBES) with 100% coverage of the study area. They represent bathymetric data used for construction of high resolution digital terrain model (DTM) and intensity of the reflectivity of bottom sediments in the form of sonar mosaics to determine lithological varities. Polygons with different reflectivity are verified by bottom sediment sampling, collected in 141 stations, as the latter are analyzed with standard sedimentological analyses (granulometry, carbonate content and organic matter). The data from sedimentological analises are processed with GradiStat program and are merged into a single classification system. All data are combined into a database and analyzed by Geographic Information Systems (GIS). From the seabed DTM a high accuracy bathymetric map with 0.5 m isobaths spacing is created as a basis for morphological zoning of the shelf. The boundaries of different lithological varieties are defined by reflectivity and geological sampling data. The morpho-lithological map presents detailed characterization of the shelf, especially of the coastal zone in relation to its active hydrodynamic conditions. Lithologically outlined and characterized are: the coastal zone under active wave action; the zone on visible wave action determined by the presence of riffles and other sandy formations; the boundaries of the inner coastal depression and its thalweg. Morpho - lithologically are defined the

Key words: Black Sea, continental shelf, morpho-lithological zoning, Multibeam Echosounder System, GIS

Въведение

С развитието на технологиите за проучване на океанското дъно през последните години се дава възможност за все по-детайлно картиране и изучаване на Българския Черноморски шелф. Изследването му се явява първостепенна задача с влизането на Република България в Европейския съюз и обвързващите директиви, насочени приоритетно в екологично отношение. Пионер в научните изследвания в акваторията на Българския сектор от Черно море е Институтът по океанология "Фритьоф Нансен" (ИО), изучавал шелфа съвместно с руски научни екипи (Геология..., 1979; Геолого-геофизические..., 1980; Нефтегазогенетические..., 1984; Геологичская ..., 1990). Обобщението на фактическия материал от научния фонд на ИО е добра основа за първоначален анализ на морфолитоложките условия на шелфа, които са актуализирани в настоящото изследване с новополучени данни.

Използването на данни от Многолъчева сонарна система - МСС (Multibeam Echosounder SeaBat 7111) в настоящото изследване дава възможност за генериране на цифров модел на дъното (DTM - дигитален теренен модел), като основа на високоточна батиметрична карта, по която са уточнени границите на морфоложките зони на континенталния шелф. Въз основа на сонарни мозайки и стандартни седиментоложки анализи (гранулометрия, карбонатно съдържание и органично вещество) са определени литоложките граници между отделните разновидности.

Настоящата статията има за цел да представи съвременен анализ на морфо-литоложките условия в района между плаж Паша дере (южно от нос Галата) и границата на шелфа с континенталния склон, на основата на фактическия материал от научният фонд на ИО, допълнен с актуални експедиционни данни представени в ГИС-среда (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на местоположението на изследвания район.

Характеристика на района.

Географски, той се разполага на 7 km южно от нос Галата (Варненски залив), пред плаж Паша дере (фиг. 1) и е с дължината на бреговата линия (западна граница на района) от 4.4 km. Мористо, северната и южната граница са почти успоредни една на друга, с направление северозапад – югоизток и с дължина от около 52 km. Найизточната част на района е границата между шелфа и континенталния склон, като дълбочината и варира между 110 и 130 m. Изследваният участък обхваща площ с размер приблизително 478 km². В локално тектонско отношение районът попада в южната част на Варненската моноклинала, известна като Варненска депресия. Структурно, тя е в рамките на източната част на Мизийската платформа, оформяща северната част на Камчийския подбалкан (Крыстев, Михова, 1990).

Крупните елементи на релефа, които се отделят в Българския сектор на Черно море са: шелф, континентален склон, континентално подножие и абисално дъно (Пърличев, 1976; Отчетен доклад, 1978; Геология..., 1979). Релевантен към изследвания район се явява Българският Черноморски шелф (БЧШ). Той се дефинира като относително плитководна (дълбочини на водния стълб до около 200 m) част от морското дъно, слабо разчленена абразионно – акумулативна равнина, разположена между бреговата линия и границата с континенталния склон. Геоморфоложки, той се поделя на три зони: вътрешна (прибрежна), централна и външна (периферна) (Крыстев и др., 1984). Хидродинамичната обстановка, с последващи прояви на абразионни и акумулативни процеси, е отличителна характеристика между зоните (Кожухаров и др., 2010). Конкретната морфология на морското дъно е в най-пряка зависимост от съвременните геоложки процеси, протичащи в различните зони на шелфа (Димитров, 2003).

В трите гореспоменати зони, съпоставени с положението на изследваната акватория, геоморфоложки се проследяват: 1 - прибрежна зона; 2 - вътрешна (прибрежна) депресия; 3 - зона на акумулативни валове (Калиакренски вал); 4 - наклонена шелфова равнина; 5 - периферна шелфова зона; 6 - външна депресия (вероятно дъно на реликтова лагуна); 7 - подводни валове в подзоната на периферията на шелфа; 8 - граница шелф - континентален склон (фиг. 2.). Редът на обособяване на зони е от *брега в дълбочина*. (Геология..., 1979).



Фиг. 2. Геоморфоложко райониране на шелфа (Геология..., 1979). С прекъсната линия са проследени геоморфоложките форми, релевантни към изследваната акватория.

Литоложки, прибрежната зона се характеризира с холоценски седименти, които са в тясна връзка с геоложкия строеж на прилежащата суша (Димитров, 1979). Важно е да се отбележи присъствието на неогенски скали от Галатската свита, върху които залягат кватернерните отложения. От важно значение за условията в тази зона е абразионно-срутищният и абразионно-свлачищен акумулативен тип бряг. Морските холоценски наслаги, припокриващи този разнороден седиментен комплекс, са представени от разнообразни по зърнометричен състав пясъци, песъчливо-тинести и тинести материали, примесени с черупчест детрит, като преобладаваедрозърнестата пясъчна фракция с добра сортираност на зърнометричния състав (So от 1,7% до 2,9%) с ерозионнотеригенен произход (СаСО, от 4,3% до 8,4%) (Керемедчиев, 2004; Трифонова и др., 2013). На дълбочина от 20 m преминава границата между пясъчния материал и алевритите (Пейчев, Димитров, 2004).

След прибрежната зона от около 23 m, следват холоценски шелфови седименти от литостратиграфски единици *A*, *B*, *C*, *D*, *K*, *H* (Кожухаров и др., 2010). Почти във всички тях присъстват сходни по зърнометричен състав глинести или алевропелитови и песъчливи тини. В периферния шелфов район (100 m изобата), освен литостратиграфски единици *K* и *H*, се изолират мекопластични алевритови тини с черупки от Dreissena – горноплейстоценска (новоевксинска) литостратиграфска единици единица *L* (Hristova, 2015).

Методика на изследването

Експедиционна дейност

В периода от 2009 до 2013г. районът е проучван интензивно по различни задачи (проучвателни, геотехнически. мониторинг на екологичното състояние на дъното). За заснимането на дънно в настоя-шото изследване са използвани МСС "SeaBat7111", Многолъчев ехолот "MB1 Teledyne Odom Hydrographic", странично-сканиращи сонари (Side Scan Sonar) StarFish 450Н" и "Klein-3000". В редица експедиции са взети общо 83 геоложки станции, пробонабирани чрез "van Veen" граб, вибро сондиране и гравитачно сондиране. Използвани са и 58 геоложки станции от фонда на секция "Динамика на бреговата зона" на ИО (фиг. 3).



Фиг. 3. Схема на фактическия материал (геоложки опробвания и сонарни мозайки)

Пост-обработка на използваните данни

Тя е подчинена на генерирането на цифров модел на дъното за определяне на морфоложките условия и съставянето на сонарни мозайки за дефиниране на границите между отделните литоложки разновидности.

Цифров модел на дъното

При обработката на данните от многолъчевото ехолотиране е използван програмния продукт PDS2000. Представени са главните функции при построяването на цифровия модел. Първият етап се състои от:

- филтрация и първична обработка на данните от МСС. Тази процедура завършва с отстраняване на грешно измерените дълбочини;

 оценка на изменението на покритието и плътността на данните след филтрацията;

 изграждане на предварителен цифров модел на дънния релеф; Резултатът от първия етап завършва със съставянето на предварителна карта. Поради липсата на корекции в нея, се преминава към втория етап на обработката:

- въвеждане на корекции за нивото;
- разпределение на грешката според дълбочината;
- изграждане на цифров модел на релефа на дъното;
- създаване на високо точни батиметрични карти.

Създаване на сонарна мозайка на дъното

За построяването на мозайка на отразяващата способност на морското дъно, първо се експортират данните от функцията на локатора за страничен обзор, съвместно със сонарната система в програмата PDS2000 във файлове тип *.XTF с резолюция 0,5 m на пиксел. За получаването на качествена картина на акустичното изображение са използвани няколко усилвания за подчертаване на дребно мащабни (локални) неравности на дънната повърхност, отделно намиращи се в зоната на заснимане на странично-сканиращия сонар обекти (валуни и антропогенни обекти). Това означава, че е постигнат найдобрият резултат на изобразяване на отразения сигнал. Получена подробна сонарна мозайка е с достатъчно висока резолюция за отделяне на литоложките разновидности по физически характеристики.

Седиментоложки анализ

Избраните 141 станции имат добро покритие на изследваната акватория. Приложени са стандартни седиментоложки анализи (гранулометрия, карбонатно съдържание и органично вещество). Като проблем може да се отчете фактът, че данните са класифицирани в различни класификационни схеми. Една част са класифицирани по БДС 676 от 1985г. (Трифонова и др., 2013), а за друга част е използвана класификационната система на "GRADISTAT program" (Blott and Pye, 2001; Marine Seabed..., 2013), базирана на Wentworth (1922). Поради различията си в граничните стойности на класовете в двете гореспоменати системи, се налага привеждане на резултатите в една от системите, като е избрана тази на Wentworth (1922). Основната причина за избора на тази система е възможността за прилагане на софтуерния продукт "Gradistat" (Blott and Pye, 2001), даващ възможност за пакетна обработка на седиментни анализи с голям спектър от изходна информация за пробата – D₁₀, D₅₀, процентно разлагане по фракции, сортираност и други.

Интерпретация и резултати

Вътрешната, прибрежна зона, обхващаща подводния брегови склон до дълбочина 20 m и е с площ от 4.5 km² (фиг. 4). Морфоложкият й облик е в пряка връзка с активното вълново въздействие и крайбрежните геоложки условия, в следствие на което е нейният разнороден седиментен и зърнометричен характер. От генерирания цифров модел са изчислени с висока точност стойностите на наклоните в прибрежната зона, а именно: от 0 до 7,5 m - 0.0224; от 7,5 до 11,7 m - 0.014 и 15 до 20 m - 0.0109, което потвърждава трисклонния характер на подводния брегови склон (Керемедчиев, 2004). В разнородния холоценски седиментен комплекс на прибрежната зона, преобладаващият субстрат е едрия пясък със средни стойности на D_{50} ~0,396, с добра сортираност σ_g ~1,27 ϕ , заемащ 74,4% (3,35 km²) от прибрежната зона, разположен между 4 m и 23 m дълбочина (фиг. 5). Забелязва се слабо



Фиг.4. Схематични морфоложки разрези на района между плаж Паша дере и континенталния склон по данни от цифров модел на дъното. Геоморфоложки континенталния шелф е зониран както следва: 1. Прибрежна зона; 2. Централна шелфова зона (2.1. Подзона на предвалово понижение; 2.2. Подзона на Калиакренски акумулативен вал; 2.3.Подзона на наклонена шелфова равнина); 3. Периферна шелфова зона (3.1. Подзона на периферните валове; 3.2.Подзона на периферна шелфова тераса); 4. Континентален склон

наличие на чакъли (средно ~2,17%) във всички 39 проби и почти напълно отсъствие на тинеста фракция (под 0,45%). Втора по площно разпределение се явява групата на *смесените пясъци и по-едри седиментни фракции*. Преимуществено се разполагат до 5 m дълбочина, в рамките на най-активния в хидродинамично отношение подводен склон (от 0 до 7,5 m). Поради липсата на достатъчно седиментни опробвания в тази зона, не могат да се правят заключения за по-детайлното разпределение на литоложките единици, а само общо да се характеризират пространствено.

От сонарните мозайки и сателитните изображения е проследено разположението на скалните разкрития на Галатската свита. Те са успоредни на бреговата линия до 13 m дълбочина и представят 0,33 km² (7,11%) от изследваната площ. Дребно- и среднозърнестите пясъци (с D₅₀CP.~2,23 ϕ) са с обща площ от 0,18 km², разположени между 7 и 18 m изобата и с умерено добра сортираност (Σ_{G} ~1,42).





В настоящото изследване двата подтипа субстрат са обединени поради слабото присъствие на дребен пясък (0,01 km²). Наблюдава се почти пълно отсъствие на чакълеста фракция, като във всички проби максималните стойности достигат до 1%, а средно за всички е 0,24%. Същото важи и за тинестата фракция със средно наличие в пробите от 0,24% (фиг. 5).

Следващите морфоложки подзони на шелфа могат да бъдат обобщени с наличието на холоценски теригенни тини, предимно с влошена сортировка. В периферната шелфова зона отчетливо се наблюдава наличието на плейстоценски тини с примеси от цели черупки и детритус от *Dreissena* (фиг. 4). Медианният диаметър Dм варира в границите между 2 и 6 ф, като дебелината на холоценския седиментен комплекс надхвърля 1÷2 m (Кожухаров и др., 2010).

Изводи и заключения

В резултат на проведеното изследване, по построения цифров модел на дъното, сонарни мозайки и седиментоложки анализи, са постигнати следните резултати:

- Изготвени са Морфоложка карта на шелфа пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:250000 и подробна Морфо-литоложка карта на прибрежната зона пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:15000 (фиг. 5), като са очертани границите на морфоложките зони с висока точност, включително е фиксирана и границата между шелфа и континенталния склон;.
- Извършен е съвременен морфо-литоложки анализ в прибрежната шелфова зона, основан на площно разпределение, сортираност и зърнометрични характеристики на седиментите;
- Определени са дефинитивната граница между пясъчния и тинестия седимент, както и скалните разкрития в бреговата зона.

Литература

- Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. Сб. Доклади, БАН, С., 1990, 666 с.
- Геология и гидрология западной части Черного моря. С., БАН, 1979, - 143 с.
- Геолого-геофизические исследования Болгарского сектора Черного моря. С., БАН, 1980, 318 с.
- Димитров, Л. Геоморфоложка характеристика на шелфа. В Плитко залягащи газонаситени утайки и газопроявления на българския континентален шелф. Дисертация за присъждане на научна степен "доктор". Научен фонд на ИО "Фритъоф Нансен"- БАН, В., 2003
- Димитров, П. Особености в състава и разпределението на дънните наслаги от черноморския шелф между

носовете Калиакра и Емине. С. Океанология 5, С., БАН, 1979, - 22-33.

- Керемедчиев, Ст., Геоморфоложки анализ на бреговата зона на Авренското крайбрежие. В *Проблеми на географията*, 3-4, БАН,С., 2004 -126-134.
- Кожухаров, Е., Л. Димитров, Р. Христова, В. Дончева. Обяснителна записка. Геоложка карта на българския сектор от акваторията на Черно море в мащаб 1: 500 000. Научен фонд на ИО "Фритъоф Нансен"- БАН, В., 2010, - 65 с.
- Крыстев, Т., Л. Волокитина, Д. Пырличев, Ев. Мирлин. Структурно-геоморфологическое строение дна. В Нефте-газогенетические исследования Болгарского сектора Черного моря, С., Болгарской академии наук, 1984, - 46-54.
- Крыстев, Т., Е. Михова, Релеф и тектоника на българския шелф. В Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время., С., БАН, 1990. - 392-431.
- Нефте-газогенетические исследования Болгарского сектора Черного моря. С., БАН, 1984. 288 с.
- Пейчев, В., Д., Димитров. Строеж на океански и континентален тип земна кора., *Океанология,* Изд. Онгъл, В., 2012. 376-401.
- Пърличев, Д. Неотектонски проблеми на българския Черно-морски шелф., *Океанология*, 1, С., БАН, 1976, -81-92.
- Blott S.J, K., Pye, Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surf. Proc. Land., 26 (11),* 2001, - 1237-1248, doi: 10.1002 / esp.261.
- Marine Seabed Habitat Baseline Study. In South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report, Environmental Impact Assessment, 2013, - p.44 (available at http://www.southstream-offshore.com)
- Hristova, R., Lithostratigraphic and spatial relationship of the Upper Quaternary sediments on the boundary shelfcontinental slope in the Bulgarian sector of the Black Sea., Доклади на Българска академия на науките, 68, 3, С., 2015. - 351-358.
- Wentworth, CK, A scale of grade and class terms for clastic sediments, *J. Geol.*, 30 (5), doi: 10.1086 / 622910. 1922. 377-392.

Фондови материали:

- Отчетен доклад. Изследване геоморфоложкия строеж, литодинамиката и четвъртичните отложения на бреговата и шелфова зона на Българското Черномоморие от н. Калиакра до н. Емине. В., Научен фонд на ИО "Фритъоф Нансен"- БАН, 1987, - 570 с.
- Трифонова, Е., Ст. Керемедчиев, И. Коцев, И.,1.2. Седименти. В Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ). Договор № 0-33-18 / 12.06.2013, стр.43-76.В., Научен фонд на Институт по Океанология "Фритъоф Нансен"- БАН, В., 2013,- 43-76.

Статията е рецензирана от проф. дн Веселин Пейчев – ИО-БАН.

ПРИСЪСТВИЕ И РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ПЕПЕЛООБРАЗУВАЩИ ЕЛЕМЕНТИ ВЪВ ВЪГЛИЩА ОТ БУРГАСКИЯ БАСЕЙН, БЪЛГАРИЯ

Йордан Кортенски, Кристина Вечкова-Стоева, Александър Здравков

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", София 1700, България

РЕЗЮМЕ. Опробвани са въглищни пластове А и Б от Бургаския басейн. Определено е съдържанието на главните елементи във въглищната пепел. Пепелообразуващи елементи са Si, Al, Fe, Ca, S, Mg и Na, тъй като техните концентрации надвишават 0,5%. Количествата на Ti, K, Mn и P са по-малки от 0,5%. Във въглищната пепел надкларкови са съдържанията на S, Ca, Mn и Na, а околокларково е това на Fe. Концентрацията на Si, K, Ti, P и Al е по-ниска от кларковата. Преобладаващ органичен афинитет проявяват Ca, S, Na и Mg, докато Si и Fe са привързани предимно към неорганичното вещество на въглищата. Алуминият, Ti, P, K и Mn са със смесен афинитет. Елементите са групирани в три асоциации: Si-Al-Ti, Fe-P-K и Ca-S-Mg-Na, обусловени от сходния афинитет на елементите и сходна минерална и органична форма на присъствие. Чрез диаграма на киселинността на средата е определена стойността на pH, която достига до 5. Изчисленият индекс на подхранване на торфеното блато (SI) определя смесено подхранване и морски фациес.

Ключови думи: кафяви въглища, пепелообразуващи елементи, органичен и неорганичен афинитет, киселинност на средата, индекс на подхранване, Бургаски басейн.

OCCURRENCE AND DISTRIBUTION OF MAJOR ELEMENTS IN COALS FROM BOURGAS BASIN, BULGARIA J. Kortenski, K. Vechkova-Stoeva, A. Zdravkov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. The coal seams A and B in the Bourgas basin were sampled and the concentration of the major elements in coal ash was determined. The amounts of elements like Si, Al, Fe, Ca, S, Mg and Na are exceeding 0.5%, whereas Ti, K, Mn and P contents are lower than 0.5%. In comparison to the Clark values in coal ash, the concentrations of S, Ca, Mn and Na are increased, whereas Si, K, Ti, P and Al show decreased contents. Only Fe concentration is similar to the Clark values. Calcium, S, Na and Mg show predominant organic affinity, whereas Si and Fe are mainly connected to the inorganic matter in coal. Aluminum, Ti, P, K and Mn have mixed affinity. All elements are grouped in three associations: Si-Al-Ti, Fe-P-K and Ca-S-Mg-Na, based on their similar mode of occurrence. The pH conditions during coal formation were determined using a diagram of acidity. The results indicate coal formation in acidic conditions, with maximal pH value of 5. The calculated supply index (SI) indicates mixed nutrient supply and marine facies.

Keywords: bituminous coal, major elements, organic and inorganic affinity, environmental acidity, supply index, Bourgas basin.

Въведение

Бургаският въглищен басейн се намира на 15 km североизточно от гр. Бургас. На изток се ограничава от брега на Черно море, на север достига да селата Ахелой, Каменар, Лъка и Рудник. Геоложките и палеонтоложките проучвания на П. Гочев доказват късно еоценска възраст на терциерните въгленосни седименти (Коняров, 1932). Въз основа на характерни спорополенови спектри Чернявска (1970) потвърждава тази възраст. Въглищата от басейна са обект на геохимични изследвания като концентратори на елементи-примеси (Узунов, 1973, 1976; Узунов, Караджова, 1968, 1969; Ескенази, Минчева, 1983). Подробни петроложки и геохимични изследвания на въглищата в басейна извършват Вълчева и Шишков (1982). Markova, Kortenski (2004), въз основа на петрографския и химичния състав на въглищата изследват окислителните процеси в тях. Bechtel et al. (2005), въз основа на петрографски и органогеохимични изследвания правят изводи за фациеса в торфеното блато на Бургаския басейн.

Целта на настоящата работа е да се определи съдържанието и разпределението на пепелообразуващите елементи в бургаските въглища, а чрез тях и параметрите на средата в древното торфено блато.

Кратки бележки за геологията на Бургаския въглищен басейн

Литостратиграфия

Подложката и бреговата ивица на басейна са изградени от кредни скали (фиг. 1). Грудовската група (Кониас?) (Петрова и др., 1994) е с дебелина до 3000 m и се изгражда от пепелни, псамитови до бомбено-блокови туфи и ксенотуфи, както и лави на алкални базалтоиди и алкални трахити. Участват още туфити и нормални седиментни скали, представени от чакълни до блокови брекчи, туфогенни пясъчници, алевролити, варовици, мергели и аргилити. В Мичуринската група се отделят следните свити: Драчевска (пирокластити с лапилови, псамитови, алевритови и пепелни туфи) и Демиркьойска

свита (блоково-бомбени до псамитови туфи и тънки бързо изклинващи лавови потоци от латити и трахити). Дебелината ѝ надвишава 2900 m. (Петрова и др., 1994). Характерни за Бургаската група са висококалиевите алкални вулканити. В нея в района на басейна Петрова и др., (1994) включват няколко свити: Карталкуска свита (кониас-сантоски туфи и лави на алкални базалтоиди с дебелината над 3000 m). В нея е отделен Яснополянски член (незакономерно редуване на туфи, туфити, мергели, варовици и др. с дебелина 450 m) (Петрова и др., 1994). Равногорска свита (туфи и лави на алкални трахити и отчасти на алкални базалтоиди с дебелина до 2000m). Нейният Маринкобски член е представен от туфи на алкални базалтоиди (Петрова и др., 1994). Тънковска свита (тънкопластови глинести варовици, мергели, аргилити, туфити и туфи). Тя е с условно приета кониассантонска възраст и дебелина от 1300 m (Петрова и др., 1994). Медовска свита е с кониас-сантонска възраст и дебелина от 1800 m. Представена е от дебелопластови и масивни псамитови, лапилови и бомбени туфи на алкални базалтоиди (Петрова и др., 1994). Драгановска свита (туфи и лави на алкални трахити и алкални базалтоиди). Дебелината ѝ е 1600 m, а възрастта ѝ се приема за сантонска (Петрова и др., 1994) и раннокампанска (Sinnyovsky, Sultanov, 1994). Към Бургаската група освен лавите и пирокластитите, които изграждат разреза на свитите, принадлежат и секущи тела от гърлов, суббулкански и интрузивен фациес - дайки, силове и интрузии (Петрова и др., 1994). Еминската свита в района е изградена от турбидитна алтернация на варовити глини, мергели, глинести варовици, алевролити и пясъчници с дебелина 700 m и възраст Късен Кампан (Sinnyovsky, Sultanov, 1994; Sinnyovsky, 2015).

Въгленосни са палеогенските седименти, които заемат широка площ западно от Бургаския залив (фиг. 1-I). Те покриват трансгресивно и дискордантно горно-кредните вулкански и седиментни скали. Възрастта им се определя като Среден Еоцен-Олигоцен. В Бургаския басейн са отделени две литостратиграфски единици: Равнецка свита - разполага се трансгресивно и дискордантно върху скалите на горната креда (фиг. 1-II). Изградена е от зелени и виолетово-червени глини, всред които се явяват неиздържани пластове от пясъци, пясъчници и конгломерати. Характерни за свитата са въглищните глини и въглищата. Те са до 7 на брой (като неиздържани прослойки и лещи) в отделеното долно въгленосно ниво и два промишлени (А и Б) в горното въгленосно ниво (фиг. 1-II) (Петрова и др., 1994). Дебелината на свитата е до 300 m. Джуранов (1992) датира Равнецката свита като Среден -Късен Еоцен. Мугриска свита - разполага се върху Равнецката свита в централната част на Бургаската депресия (фиг. 1-II) (Петрова и др., 1994). Изградена е от сиви до сиво-резедави мергели с неиздържани пластове и леши от варовици и конгломерати. Дебелината на свитата достига до 380 m. Възрастта е определена като късноеоценска (Джуранов, 1992).

Кватернерните наслаги обхващат главно долините на реките, речните устия и крайбрежната част на Бургаския залив. Поделят се на: морски, езерно-блатни и алувиални.

Тектонски строеж на басейна

Бургаският въглищен басейн представлява плитка синклинала (Бургаска синклинала) с посока изток-запад, усложнена от разседи (Йовчев, 1960). Дължината й е 30 km по линията Поморие – Кръстина, а ширината – 5–10 km, като оста потъва в източна посока. Наклонът на бедрата на синклиналата достига 10-15°. В централната част се характеризира с намаляване на наклона до хоризонтално залягане на пластовете. Горноеоценските седименти са разломени по площта на басейна, като амплитудата на разломите варира в широки граници - от 1-2 до десетки метри (Петрова и др., 1994).

Материал и методика на изследване

Пробите за химичните анализи на въглища са стрити до размери <250 µm в Лабораторията по органична петрология към катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми". За установяване на геохимичната характеристика, въглищата са опепелени при температура от 800°C в ЦНИЛ "Геохимия". Главните елементи, изграждащи пепелта на въглищата са определени чрез силикатен анализ, съгласно стандарт ISO 11535-2002. За целта пепелта е приведена в разтворено състояние чрез третира- не с азотна киселина, след което полученият разтвор (0.1-250ml) е анализиран на спектрален анализатор ICP-VISTA-MPX SIMULTANEOUS CCD. Количественото определяне на съответните оксиди е направено със стандартни вещества. Резултатите са обработени на персонален компютър като е извършен йерархичен клъстер анализ по средно претегления метод с програма STATISTICA®.

Резултати и обсъждане

Подхранване на древното торфено блато

Обикновено Si, Al и Ti постъпват в торфеното блато с теригенен материал, а Ca, Mg, Fe, S, Mn, Na, K и P се пренасят предимно в разтворено състояние. Повишеното съдържание във въглищата на първите 3 елемента означава, че постъплението на теригенен материал е преобладаващо. Обратното, високата концентрация на Ca, Mg, Fe, S, Mn, K, Na и P може да се използва като белег за преобладаващо грунтово подхранване или наличие на паралични условия. Според Кортенски (2011) чрез съотношението на оксидите на двете групи елементи може да се определи индекс на подхранване на торфеното блато:

SI = SiO_2 + AI_2O_3 + TiO_2 / CaO +MgO +Fe₂O₃ +SO₃ +MnO +Na₂O +K₂O +P₂O₅

За Бургаския въглищен басейн изчисленият индекс на подхранване SI е 0,515. Той попада в отделения от Кортенски (2011) пети тип по подхранване, който се обособява в интервала на SI от 0,25 до 0,8 (фиг. 2).



Фиг. 1. Схематична геоложка карта на Бургаския басейн (I) с литостратиграфска колонка на Неозоя (II) (на основата на геоложката карта на България, М 1:100 000)



Фиг. 2. Диаграма за определяне на индекса на подхранване (SI) на торфеното блато. Точката на диаграмата е стойността на SI за изследваните въглища. A=SiO₂+Al₂O₃+ TiO₂, %;

B=CaO+MgO+Fe₂O₃+ SO₃+K₂O+Na₂O+MnO+P₂O₅, %.

За този тип е характерно, че подхранването е смесено като относителните дялове на подземното подхранване и подхранването с теригенен материал са съизмерими. Бреговата ивица е изградена от различни по състав скали. При отсъствие на карбонатни скали е възможно торфеното блато да е било подложено на морска трансгресия. (Кортенски, 2011). Присъствието на карбонатните скали в бреговата ивица на торфеното блато за Бургаския басейн е ограничено, поради което се потвърждава морският фациес по време на торфогенезата. Като се има предвид, че пепелното съдържание не е високо, то не може да се допуска, че самото торфено блато е било подложено на морска трансгресия. Вероятно торфонатрупването се е осъществявало в крайбрежноморски условия и соленоводна среда. Сравнително високата стойност на индекса на подхранване показва, че торфеното блато не е имало постоянна връзка с морския басейн и част от подхранването е било с теригенен материал от повърхностни води.

Киселинност на средата в торфеното блато

Киселинността на средата в древното торфено блато е определена чрез химичния състав на въглищната пепел на диаграмата на киселинността по Кортенски (1986). На ординатата на диаграмата се нанася коефициент на киселинност на минералната част на въглищата (Кк), който се определя като следното съотношение:

 $K\kappa$ = SiO_2 +Al_2O_3 +SO_3 +P_2O_5 / CaO +MgO +Fe_2O_3 +MnO +Na_2O +K_2O

Съпоставяйки този коефициент с пепелното съдържание на изследваните проби върху диаграмата може приблизително да се определи киселинността на средата, в която е ставало торфонатрупването в конкретния случай. От разположението на точките върху диаграмата на киселинността на средата (фиг. 3а) се вижда, че през поголямата част от торфонатрупването средата е била кисела. Като се има предвид казаното по-горе за обстановката в торфеното блато и отсъствието на постоянна връзка с морския басейн, то киселата среда е напълно обяснима. Постъпващите повърхностни води в известна степен са опреснявали торфените води, поради което те не са могли да неутрализират в голяма степен образуваните при торфогенезата хумусни киселини. Данни за пресноводен приток в торфеното блато, който оказва влияние върху pH и Eh на средата привеждат и Bechtel et al. (2005).

Характеристика на установените пепелообразуващи елементи

Натрий. Съдържанието на Na във въглишната пепел на бургаските въглища надвишава кларка по Finkelman (1994) 2.9 пъти (табл. 1). Причините за висока концентрация на Na може да бъдат няколко. Според Kessler et al. (1967) такава може да бъде морска трансгресия, а според Slansky (1985) постъпление с теригенен материал от оградните скали или с подземни води. В допълнение на това Beaton et al. (1991) посочва възможност за постъпление с вулканска пепел, а Ward (1992) съобщава, че в австралийски въглища основен източник на Na, Ca, Mg ca водоносни хоризонти със солени води под въглищните пластове. Като се има предвид, казаното по-горе за торфеното блато, то морският фациес е основната причина за високото съдържание на елемента. На фигура Зб се вижда, че с увеличаване на пепелността, концентрацията на Na рязко намалява. Това определя високия отрицателен коефициент на корелация (r = -0,77; табл. 1, фиг. 36) и определя преобладаващ органичен Установената афинитет. по-горе кисела среда благоприятства свързването на елемента с органичното вещество и образуването на хумати и фулвати, които според Войткевич и др. (1983), са типичната сорбционна форма на присъствие за Na. Според Ward (1992) той атакува предимно карбоксилните функционални групи в хумусните киселини. Част от органичната форма на присъствие може да бъде биогенна, тъй като съдържанието на Na в растения на суха маса е 0,12% (Bowen, 1966). Минералната форма на Na е в подчинено количество. Тя може да бъде свързана с глинестите минерали или други силикати, а Kortenski, Sotirov (2002) установяват висок коефициент на корелация (над +0,5) на Na със сулфидите и карбонатите.

Калций. Съдържанието на елемента в пепелта на бургаските въглища значително надвишава кларковото -4,3 пъти (табл. 1). Основна причина за това е посочения по-горе морски фациес по време на торфогенеза. Концентрацията на Са намалява с нарастване на пепелното съдържание на въглищата (фиг. Зв), поради което коефициентът му на корелация с пепелта е отрицателен, с висока стойност (табл.1). Това обуславя преобладаващ органичен афинитет. Органичната форма на Са е биогенна и сорбционна. Съдържанието на елемента в растенията е 1,8% (Bowen, 1966), което обуславя биогенната му форма на присъствие. Сорбционната форма е свързана с хумати и фулвати (Войткевич и др., 1983). Поради преобладаващия органичен афинитет, минерална-та форма на Са е възможна, но количеството в изследваните въглища не е голямо. Тя е свързана предимно със собствени карбонатни и сулфатни минерали, но елементът може да участва в състава и на други минерали. Така напр. като примес Са се установява в сидерит до 5% и магнезит до 1% (Kortenski, 1992), а по принцип във въглищата са установени и редица Са-съдържащи силикати (Ward, 1992).

Таблица 1

Съдържание на пепелообразуващите елементи и техните оксиди в пепелта на бургаските въглища

Оксиди	Средно съдържание в пепелта, wt%	Коефициент на корелация с пепелта	Елемент	Средно съдържание в пепелта, (B) wt%	Кларк за въглищна пепел, wt% (Кв)*	B/KB		
Al ₂ O ₃	17,37	0,275	Al	9,20	11,45	0,80		
Fe_2O_3	14,18	0,565	Fe	9,93	9,92	1,00		
MgO	1,97	-0,611	Mg	1,18	0,80	1,48		
CaO	21,17	-0,633	Са	15,16	3,51	4,32		
TiO ₂	0,38	0,370	Ti	0,23	0,40	0,58		
MnO	0,16	-0,155	Mn	0,12	0,06	2,00		
Na ₂ O	2,4	-0,770	Na	1,78	0,61	2,92		
SO ₃	25,92	-0,815	S	10,37	0,20	51,85		
P ₂ O ₅	0,13	0,346	Р	0,06	0,12	0,50		
K ₂ O	0,15	0,379	Κ	0,12	1,37	0,09		
SiO ₂	16,42	0,594	Si	7,67	20,61	0,37		
Ad	11,73							

Магнезий. Концентрацията на елемента надвишава 1,48 пъти кларковата (табл. 1). Основна причина за това е посочения по-горе морски фациес по време на торфогенеза. Концентрацията на Mg намалява с нарастване на пепелното съдържание на въглищата (фиг. 3г). Коефициентът му на корелация с пепелта е отрицателен (табл.1), като това показва преобладаващ органичен афинитет. Съдържанието му в растенията е 0,32% (Bowen, 1966), а в пепелта им - 7% (Войткевич и др., 1983), поради което е възможна биогенна форма. Сорбционната форма, подобно на Са, е свързана с хумати и фулвати (Войткевич и др., 1983). Минералната форма на Mg е свързана предимно с карбонати, но е възможно да участва и в други минерали, напр. илит (Кортенски, 2011).

Сяра. В пепелта на изследваните въглища, сярата е с особено високо съдържание, надвишаващо над 50 пъти кларковото (табл. 1). Това е типично за морския фациес по време на торфогенезата. Органичният афинитет на S е преобладаващ, тъй като съдържанието й намалява с увеличаване на пепелта (фиг. 3д), а коефициентът на корелация с нея е отрицателен (табл. 1). Киселата среда в торфеното блато е причина сярата да се фиксира предимно в органичното вещество. По данни на Kostova, Markova (2005) количеството на Sorg варира от 1.2 до 10,0% (средно 2,8%), докато това на Spy е много по-малко - от 0,5 до 5,5 (средно 1,6%). Given and Wysse (1961) посочват тиолите, сулфидите, тиофените и тиопироните като основни органични форми на сярата във въглищата. Тиолите реагират с алкални разтвори и това може да обясни високата корелация на S и Ca (фиг. 4) в бургаските въглища. Съдържанието на елемента в растителна пепел е 5% (Войткевич и др., 1983), така че е възможна и биогенна форма. Минералната форма на S е свързана предимно с пирита, но част от количеството й се дължи и

на сулфатите.

Манган. Манганът също е с надкларково (2 пъти) съдържание (табл. 1). Коефициентът му на корелация с пепелта е със стойност под граничната, което определя смесен афинитет. Поради това, количеството на органичната му (като комплексни метало-органични съединения) и минералната му (най-често като карбонати) форма на присъствие е почти еднакво. Концентрацията на Мп не се влияе съществено от пепелното съдържание (фиг. 3е).

Алуминий. Съдържанието му е малко по-ниско от кларка (табл. 1). Причина за това е, че АІ постъпва с теригенния материал от повърхностното подхранване. Последното явно не е било особено активно, тъй като пепелното съдържание е ниско. Коефициентът на корелация с пепелното съдържание е положителен (табл.1, фиг. 2ж), но със стойност по-ниска от граничната (±0,52), което определя смесен афинитет. Минералната форма на присъствие е свързана предимно с глинести минерали. Основна органична форма на Al е сорбционната, която според Юдович, Кетрис (2002) е резултат на свързването на AI с хумусните киселини като много устойчиви хумати или хелати.

бургаските Фосфор. В пепелта на въглища съдържанието на фосфор е 2 пъти по-ниско от кларковото (табл. 1). То не се променя съществено (с изключение на една проба) с увеличаване на пепелността (фиг. 23). Стойността на коефициента на корелация с пепелното съдържание е по-ниска от граничната. макар положителна и определя смесен афинитет на елемента. Органичната форма на Р може да бъде биогенна и сорбционна. Биогенната форма на елемента се дължи на белтъчните съединения на растенията. Според Юдович и др. (1985) сорбционната форма на Р е свързана със сорбционната форма на Fe, Ca или Mg. Минералната форма е свързана или със собствени

минерали или е резултат от абсорбция от глинестото веше-

ство във въглищата.

Титан. Концентрацията и на този елемент е подкларкова (табл. 1). Афинитетът му е смесен, тъй като коефициентът

му на корелация с пепелното съдържание, макар и положителен, е със стойност по-ниска от граничната. Концентрацията на Р остава почти постоянно с нарастване на пепелността (с изключение на две проби) (фиг. 3а). Количеството на органичната и минералната форма на Р са съизмерими. Изследванията на Ескенази (1972) доказват, че част от съдържанието на елемента е свързано с хумати, а останалата част от сорбционната му форма - с комплексни елементо-органични съединения. Минералната форма на Ті в изследваните въглища е свързана предимно с рутил, титанит и глинестите минерали.

Калий. Съдържанието на К е повече от 10 пъти, по-ниско от кларковото (табл. 1). Въпреки, че коефициентът на корелация с пепелта е със стойност по-ниска от граничната, се наблюдава, макар и слабо, повишаване на концентрацията на елемента с увеличаване на пепелността (фиг. 36). Може да се приеме, че К има макар слабо преобладаващ неорганичен афинитет. И Минералната му форма е свързана с глинестите минерали и предимно с илита. Органичната форма може да бъде биогенна, тъй като растенията съдържат 1,4% К (Bowen, 1966) и сорбционна, която според Войткевич и др. (1983), е като хумати или фулвати.

Желязо. Средната концентрация на елемента е равна на кларка (табл. 1), но в отделни проби, със сравнително повисоко пепелно съдържание, значително го надвишава (фиг. Зв). Коефициентът на корелация с пепелта, със сравнително висока стойност, е положителен, което се обуславя от преобладавашия неорганичен афинитет на Fe в бургаските въглища. Минералната форма на Fe е свързана със сулфиди и най-вече пирит, който (и особено фрамбоидалната му разновидност) е много характерен за блата с морски фациес. Непубликувани петрографски изследвания на авторите установяват до 12-15% пирит в бургаските въглища. Освен това Fe се среща под формата на карбонати и сулфати. Органичната форма на елемента е в подчинено количество и може да бъде предимно сорбционна, която според Войткивич и др. (1983), е като комплексни метало-органични съединения. Макар и с не особено високо съдържание. Fe присъства в растителните останки (средно около 0,014% по данни на Bowen, 1966), така че е възможна и биогенна органична форма.







a)



Фиг. 3. Диаграма на киселинността на средата и разпределение на пепелобразуващи елементи в зависимост от пепелното съдържание



Фиг. 4. Разпределение на пепелобразуващи елементи в зависимост от пепелното съдържание

Силиций. Съдържанието на Si е много по-ниско от кларка (табл.1), което се дължи на малкото количество теригенен материал, постъпващ при повърхностното подхранване на торфеното блато. Това потвърждава тезата, че последното не е било подложено на трансгресия, която би внесла в него много минерално вещество и най-вече кварц. Както в редица въглища, така и в бургаските, Si е с преобладаващ неорганичен афинитет и съдържанието му нараства с увеличаване на пепелността (фиг. 3г). Това обуславя и по- ложителният му коефициент на корелация с нея. Преобладаващата му минерална форма е свързана с глинестите минерали. От последните органичните киселини в торфеното блато могат да извличат Si и по този начин да се образуват комплекси на Si с хумусните киселини (Юдович, Кетрис, 2002).

Асоциации пепелобразуващи елементи

Геохимичните асоциации са определени чрез клъстъранализ, резултатите, от който са показани във вид на дендрограма на фигура 4. Отделят се 3 асоциации, при минимален статистически значим коефициент на корелация 0,52, като К и Mn остават извън тях. Алуминий-Si-Ti асоциация е резултат от минералната форма на присъствие на тези елементи, свързана с глинестите минерали. Групирането на Ca-S-Na-Mg асоциация и особено високият корелационен коефициент между S и Ca са обусловени от два фактора. Единият от тях е високата привързаност на тези елементи към органичното вещество, другият е минералната форма, тъй като Kostova, Markova (2005) откриват в бургаските въглища гипс Желязо-Р асоциация е обусловена от установената от Юдович и др. (1985) връзка на сорбционната форма на Р със сорбционната форма на Fe.



Фиг. 4. Дендрограма от клъстер анализ. Черната линия маркира граничния коефициен на корелация.

Заключение

С извършените изследвания са установени съдържанията на 11 елемента. Обработката на данните от тяхното съдържание позволяват да се изчисли индекс на подхранване. От стойността му е установено, че древното торфено блато е било със смесено такова, с морско влияние. Поради ниското пепелно съдържание и подкларковата концентрация на Si, може да се допусне, че торфеното блато не е било подложено на морска Вероятно торфонатрупването трансгресия. ce e осъществявало в крайбрежно-морски условия и соленоводна среда, което определя морски фациес по време на торфогенезата. Сравнително високата стойност на индекса на подхранване, както и установената кисела среда в торфеното блато показват, че то не е имало постоянна връзка с морския басейн и част от подхранването е било с теригенен материал от повърхностни води. Установеният морски фациес обуславя високите концентрации на Са. Na. Mn. Mg и особено на S. които надвишават кларка за въглишна пепел от 1,5 до 51,8 пъти. По-слабото повърхностно подхранване и особено малкото количество на внесения от него теригенен материал са причина за подкларковите концентрации K, Si, Al, Ti и P. Установените три асоциации, са обособени в следствие на сходната органична или минерална форма на елементите, включени в тях.

Литература

- Войткевич, Г.В., Л.Я. Кизильштейн и Ю.И. Холодков. Роль органического вещества в концентрации металов в земной коре. М., Недра, 1983. - 154с.
- Вълчева, С. Петрология и геохимия на въглищните басейни в България. Петроложка характеристика на въглища от Бобовдолския басейн. - Год. СУ, 79, 1, 1990. - 55-70.
- Джуранов, С. Стратиграфия на еоценските серии в Бургаската област. Сп. на БГД, 53, 2, 1992. 47-59.
- Ескенази, Г. Некоторые аспекты геохимии титана в процессе углеобразования. - Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 65, 1, 1972. - 177-199.
- Ескенази, Г., Е. Минчева. Элементы-примеси в углях Бургасского бассейна. - Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 77, 1, 1983. - 176-189.
- Коняров, Г. *Кафяви въглища в България*. Перник Държ. мини, 1932. 302с.
- Кортенски, Й. Елементи-примеси и пепелообразува-щи елементи в български въглища, С., Изд. Къща "Св. Ив. Рилски", 2011. - 253с.
- Петрова, А., Л. Михайлова, В. Василева. Обяснителна записка към геоложка карта на България, М 1:100 000, к.л. Бургас, 1994. - 42с.
- Узунов, Й. Геохимия ванадия в углеобразовательном процессе. В: І Межд. геохим. конгресс. IV., 2, Осадочные процессы, М., 1973. 185-194.
- Узунов, Й. Ванадий в угольных бассейнах Болгарии. *Geol. Balcan.*, 6, 2, 1976. 35-61.
- Узунов, Й., Б. Караджова. Разпределение на редките и разсеяните елементи в продуктивния хоризонт на Бургаският басейн. - Изв. Геол. инст. Сер. Геохим. минер. и петрогр., 17, 1968. - 21-31.
- Узунов, Й., Б. Караджова. Минералого геохимични изследвания на глинестите скали от въгленостния комплекс на Бургаският басейн. *Изв. Геол. инст. БАН,* 1969. 87-104.
- Чернявска, С. Спорополенови зони в някои старотерциерни въгленосни седименти в България. - Изв. ГИ, Страт. и литол., 19, 1970. - 79-100.
- Юдович, Я.Е., М.П. Кетрис, А.Б. Мерц. 1985. Елементыпримеси в ископаемых углях. М., Наука, 239 с.

Юдович, Я.Е., М.П. Кетрис. *Неорганическое вещество углей. Екатеринингбург,* Типогр. УрО РАН, 2002. - 421с.

- Beaton, A.P., F. Goodarzi, J. Potter. The petrography, mineralogy and geochemistry of a Paleocene lignite from southern Saskatchewan, Canada. - *Int. J. Coal Geol.*, 17, 1991. - 117-148.
- Bechtel, A., R. Sachsenhofer, A. Zdravkov, I. Kostova and R. Gratzer. Influence of floral assemblage, facies and diagenesis on petrography and organic geochemistry of the Eocene Bourgas coal and the Miocene Maritza-East lignite (Bulgaria). – Org. Geochemistry, 36, 11, 2005. -1498-1522.
- Bowen, H.L. *Trace Elements in Biogeochemistry.* N.Y. Acad. Press, London, 1966. 235 pp.
- Finkelman, R.B. Abundance, source and mode occurrence of the inorganic constituents in coal. – In: O. Kural (Ed.), Coal: Resources, Properties, Utilization, pollution. Instambul Techn., University, 1994. - 115-125.
- Given, P. H., W. F. Wysse. The chemistry of sulfur in coal. -British Coal Utilization Research Association Monthly Bulletin, 25, 1961. - 165-179
- Kessler, M.F., O. Malan, F. Valeska. Bezichungen der Alkalimetallenur Stratigraphie und Flözindentifizierung der paralischen Kohlen becken. – *Glückauf Forschungah.*, 28, 1967. - 149-154.
- Ketris, M.P., Ya.E. Yudovich. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. - *Int. J. Coal Geol.*, 78, 2, 2009. - 135-148.

- Kortenski, J. Carbonate minerals in Bulgarian coals with different degrees of coalification. *Int. J. Coal Geol.*, 20, 1992. 225-242.
- Kortenski, J., A. Sotirov. Trace and major elements content and distribution in Neogene lignite from Sofia basin, Bulgaria. – Int. J. Coal Geol., 52, 2002. - 63-82.
- Kostova, I. and K. Markova. 2005. Organic petrology, mineralogy and depositional environment of the high sulphur Eocene Bourgas coal, Bulgaria. - *Rev. Bulg. Geol. Society, 80-th Anniversary*, 164-167.
- Markova, K., J. Kortenski. Oxidation level of subbituminous coal from Bourgas Basin (Bulgaria). - Oxidations Communications, 27, 2, 2004. - 434-443.
- Sinnyovsky, D., A. Soultanov. Biostratigraphy and sedimentology of the Emine Flysch Formation in the nearshore part of the East Balkan. - C. R. de l'Acad. bulg. Sci., 47, 1, 1994. - 73-76.
- Sinnyovsky, D. Upper Cretaceous Calcareous Nannoplankton Biostratigraphy in Bulgaria. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, 2015. - 152 pp.
- Slansky, J.M. Geochemistry of high-temperature coal ashes and the sedimentary environment of the New South Wales coals, Australia. – *Int. J. Coal Geol.*, 5, 1985. - 339-376.
- Turekian, K.K., K.H. Wedepohl. Distribution of the elements in some major units of the earth's, crust. - Bull. Geol. Soc. of Amer., 72, 2, 1961. - 181-263.
- Ward, C. R. Mineral matter in Triassic and Tetriary low-rank coals from South Australia. *Int. J. Coal Geol.*, 20, 1992. 185-208.

Статията е рецензирана от проф. дгн Калинка Маркова и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и проучване на полезни изкопаеми".

РУСЛАРСКО-ПАЛЕОГЕНСКА (!) ПЕТРОЛНА СИСТЕМА В ДОЛНОКАМЧИЙСКИЯ СЕДИМЕНТЕН БАСЕЙН

Христо Димитров

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, България, E-mail: hristo_dimitrov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Главната цел на изследването е да се анализира доказаната Русларско-Палеогенска (!) петролна система в разреза на Долнокамчийския седиментен басейн (ДКБ). В различни депозони от басейна са установени четири промишлени (Галата, Каварна, Каварна-изток, Калиакра) и три непромишлени (Ново Оряхово, Приселци, Самотино море) газови акумулации, а в десетки от прокараните дълбоки, търсещи сондажи са отчетени въглеводородни проявления и разтворен в пластовите води природен газ. Всички тези факти дават основание да се говори за действаща петролна система, която вероятно се намира в ранен стадий от своето развитие (акумулациите и проявленията са от биогенен газ). Основните задачи в настоящата работа се свеждат до идентифициране, наименуване и картиране (пространствено оконтурване) на петролната система. Графично са представени географския и стратиграфския обхват на системата върху комбинирана карта и обобщен геоложки разрез. Времевият обхват на основните процеси е изразен чрез диаграма на погребването и събитийна диаграма, показващи времевата връзка на основните процеси. На тях са илюстрирани т. нар. "критичен момент" и времето на съхраняване на акумулираните в капаните въглеводородни продукти. Използваният за целите на изследването подход е изцяло базиран на концепцията на петролните системи и петролните зони (Dow, 1974; Perrodon, 1980; Magoon, 1987, 1988 и 1995; Demaison & Huizinga, 1991; Мадооп & Dow, 1994; Мадооп and Beaumont, 2003). Правилната интерпретация и картирането на елементите на една петролна зона благоприятства постигането на по-висока ефективност на търсещите работи и се явява предпоставка за оптимизиране и калибриране на данните, заложени при моделирането на пеоисторичното развитие на ДКБ и възникналата в него петролна система.

Ключови думи: петролна система, Долнокамчийски седиментен басейн, газопроявления, газови акумулации

RUSLAR-PALEOGENE (!) PETROLEUM SYSTEM IN DOLNA KAMCHIYA SEDIMENTARY BASIN Hristo Dimitrov

University of mining and geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria, E-mail: hristo_dimitrov@mgu.bg

ABSTRACT. The main objective of the research is to analyze the proven Ruslar-Paleogene (!) petroleum system in the section of Dolna Kamchiya sedimentary basin. In various basin depozones four industrial (Galata, Kavarna, Kavarna-East, Kaliakra) and three non-industrial (Novo Oryahovo, Priseltsi, Samotino more) gas accumulations were established, and tens of the cut deep, surveying boreholes we reported shows and natural gas dissolved in the layer waters. All these facts provide the grounds for talking about operational petroleum system that is probably at an early stage of its development (the accumulations and manifestations are of biogenic gas). The main tasks of this paper are about identifying, naming and mapping (spatial outlining) of the petroleum system. The combined map and summarized geologic section graphically present system's geography and stratigraphic extent. The temporal extents of the main processes is presented with burying diagram and event chart showing the time relation between the main processes. They illustrate the so-called "critical moment" and the storage time of the hydrocarbon products accumulated in the traps. The approach that was implemented for the research purposes is entirely based on the concept of petroleum systems and petroleum play (Dow,1974; Perrodon, 1980; Magoon,1987, 1988 и 1995; Demaison & Huizinga,1991; Magoon & Dow,1994; Magoon and Beaumont, 2003). The accurate interpretation and mapping of the elements of a particular petroleum zone contribute for achieving better effectiveness of the search works and it is a prerequisite for optimizing and calibrating the data set in modelling the geohistorical development of Dolna Kamchiya sedimentary basin and the petroleum system that occurred in it.

Key words: petroleum systems, Dolna Kamchia sedimentary basin, gas shows, gas accumulations

Въведение

Идентифицирането на петролни системи и тяхното детайлно изучаване са изключително важни за насоките на търсещо-проучвателните дейности в един седиментен басейн. Главната цел на изследването е да се анализира доказаната Русларско-Палеогенска (!) петролна система в разреза на Долнокамчийския седиментен басейн (ДКБ). В различни депозони от басейна са установени четири промишлени (Галата, Каварна, Каварна-изток, Калиакра) и три непромишлени (Ново Оряхово, Приселци, Самотино море) газови акумулации (фиг. 1), а в десетки от прокараните дълбоки, търсещи сондажи са отчетени въглеводородни проявления и разтворен в пластовите води природен газ. Всички тези факти дават основание да се говори за действаща петролна система, която вероятно се намира в ранен стадий от своето развитие (акумулациите и проявленията са от биогенен газ). Основните задачи в настоящата работа се свеждат до идентифициране, наименуване и картиране (пространствено оконтурване) на петролната система. Районът на изследване обхваща на сушата част от Централна Източна България и около 50 km навътре в морето от прилежащата й Западночерноморска акватория (фиг. 1).



Фиг. 1. Обзорна схема на района на изследване и откритите в обхвата му газови акумулации. В елипсите са означени: БР - Близнашки разлом; ВАР - Венелин-Аксаковски разлом; СЧЛ - Старопланинска челна линия

Материали и методика

При идентифицирането и анализирането на петролната система в обхвата на ДКБ, са използвани данните от 104 търсещо-проучвателни, експлотационни и структурни сондажи. Геохимичната информация, относно качеството и количеството на органичното вещество (ОВ) и типа на керогена, установени във въглеводородогенериращите седименти от разреза на басейна, е по публикации в специализирани геоложки издания. За съставянето на геолого-геофизичен разрез са интерпретирани няколко сеизмични профили. Използваният за целите на изследването методичен подход е изцяло базиран на концепцията на петролните системи и петролните зони (Dow, 1974; Perrodon, 1980; Magoon, 1987, 1988 и 1995; Demaison, Huizinga, 1991; Magoon, Dow, 1994; Magoon, Beaumont, 2003, Allen, Allen, 2005).

Русларско-Палеогенска (!) петролна система

Петролната система се разглежда като една динамична въглеводородогенерираща и акумулираща физикохимична система, която функционира в определен интервал от геоложкото време и има пространствено ограничение. За съществуването на петролната система е необходимо наличието на всичките и елементи и протичането на всички процеси, които трябва да са в подходящо съчетание в геоложкото пространство и време (Demaison & Huizinga, 1991).

Мотивите за именуването на петролната система са продиктувани от наличните факти, касаещи въглеводородогенериращия седиментен комплекс и резервоарните интервали, в които са доказани 7 газови акумулации. Изхождайки от базовата позиция на нефтогазомайчините скали, тяхното хроно- или литостратиграфско име е водещо за наименуване на системата. Обикновено с тире следва номенклатурното име на резервоара, последвано от символна добавка за ниво на достоверност (доказаност) на системата. Тази процедура е много добре илюстрирана в работата на Magoon, Beaumont (2003). Следвайки примера на цитираните автори, петролната система в ДКБ, е означена като Русларско-Палеогенска (!), тъй като Русларска свита се смята за основния генериращ комплекс. И въпреки, че една от въглеводородните акумулации е в разрез на горнокредни седиментни скали, в името влиза "Палеогенска", защото общото количество газови запаси в колектори с палеоценска, еоценска и олигоценска възраст надвишават около два пъти тези от горнокредния колектор. Следва удивителен знак в скоби, с което се заявява, че системата е доказана.

Елементи на петролната система

Според концепцията за петролните системи, елементите които ги изграждат са: активно генерационно огнище и нефто-газомайчини скали (богати на OB); скали колектори, скали ефективни покривки и капани за акумулиране на въглеводородните съединения.

Като основни въглеводородогенериращи в разреза на ДКБ се възприемат олигоценските глинестите скали на Русларска свита, която съдържа повишени количества на органично вещество (Chouparova et all., 1993; Sachsenhofer et al., 2009; Georgiev, 2012). Дебелината на свитата на сушата се изменя от няколко десетки метри до над 900 m. От същия порядък са дебелините и в прилежащата акватория, където свитата се установява повсеместно. Вероятното развитие на генерационното огнище е в подълбоководната зона от акваториалната част на ДКБ, където богатите на ОВ глинести седименти залягат на поголяма дълбочина - над 1500 m (фиг. 2).

Отчетеното съдържание на общото количество на органичния въглерод (Сорг) в Русларска свита е между 0.5 -2.7%, но в повечето от пробите са установени стойности от





1 до 2% (Sachsenhofer et al., 2009; Georgiev, 2012), което означава че генерационният й потенциал е от задоволителен до добър. По данни на Sachsenhofer et al. (2009), при проведения пиролитичен анализ (Rock-Eval analysis) е установено, че керогенът в повечето от пробите е от III (хумусно OB), а в по-малката част от тях и от II тип (хумусно-сапропелово OB) и следователно би могъл да генерира основно газ и в по-малки количества нефт.

Проучените колектори в ДКБ са представени от теригенни и карбонатни седиментни скали, с палеогенска възраст, с изключение на тези в газовия залеж Галата, които са привързани към нива от Горната Креда. В газовите акумулации Каварна, Каварна изток и Калиакра колекторните пластове са представени от палеоценски варовици, вероятно принадлежащи на Комаревска свита. В Самотино море колекторите са пясъчници и алевролити със средно-късноеоценска възраст. Новооряховската акумулация е в горноеоценски пясъчници. Газов залеж Приселци е вместен в олигоценски алевролити.

Непроницаемите седиментни скали (покривките) са основно глинести в случаите на Самотино море, Ново Оряхово и Приселци и карбонатни (биокластични и глинести варовици) в разрезите от Галата, Каварна, Каварна изток и Калиакра. Възрастовият им диапазон варира, както при колекторите, от Горна Креда до Олигоцен.

В разреза на ДКБ са съществували условия за формиране на разнообразни по геоморфоложки тип капани. Откритите въглеводородни залежи са вместени в капани от структурен (антиклинални с тектонски контрол) и стратиграфски (литоложки ограничени) тип.

Географски обхват на петролната система

Географският обхват на петролната система се проследява по линията, ограничаваща активното генерационно огнище и всички свързани с неговата "продукция" въглеводородни залежи, просмуквания и прояви на повърхността, проявления и притоци в сондажните стволове. Русларско-Палеогенската (!) петролна система се характеризира със следните параметри: географска дължина - по най-дългата си ос надвишава 60 km; географска ширина - в акваториалната част от ДКБ надхвърля 30 km; ориентировката й най-общо е в посока запад-изток, т.е. следва ориентировката на разположения на юг от ДКБ ороген, а формата е изометрична. (фиг. 2). Коректно е да се отбележи, че границата на географския обхват на системата за частта от сушата е значително по-уверено трасирана, поради големия брой прокарани сондажи, докато в акваторията до известна степен тя е предполагаема и вероятно ще търпи корекции, с прокарването на нови сондажи установяването на нови въглеводородни акумулации.

Стратиграфски обхват на петролната система

Под *стратиграфски* обхват на една петролна система обикновено се схваща хроностратиграфският интервал на образуване на нефто-газомайчините скали, резервоарите и покривките, т.е. интервалът, в който се вместват генерационното огнище и формираните залежи. На фиг. 2 е представен геолого-геофизичен разрез, от който би могло де се определи без колебание стратиграфския обхват на разглежданата петролна система - той обхваща седиментни скали от разреза на Горна Креда до Кватернер включително.

Диаграма на историята на басейновото погребване

Модели на погребването и термалната история на ДКБ за района на сушата са представени в научни разработки от Chouparova et all. (1993) и Botoucharov, Stefanov (2010). В настоящето изследване моделът на басейновото погребване е показан на фигура 3. Избран е условен сондажен разрез, чието местоположение може да се види на фигура 2. Подборът целенасочено е направен за подълбоководната зона, където олигоценските седименти залягат на значително по-големи дълбочини, в сравнение с тези от разреза на сушата и където съществуват условия за развитие на активно генерационно огнище.

При съставянето на модела на басейновото потъване и оценка на термичната зрялост на ОВ в ДКБ са отчетени, както етапите на седиментация, така и времевите интервали на ерозия, като следствие на тектонски колебания и евстатични изменения. Богатите на органично вещество глинести скали на Русларска свита са влезли в ранен етап на "нефтен прозорец" преди около 28 млн. г. (ранен олигоцен). След това е последвала инверсия на палеобасейна, довела до прекъсване на генерационния процес за около 10 млн. г. Нефто-газомайчините скали навлизат за втори път в стадий на ранна нефтена генерация в началото на миоценската епоха, която продължава и в наши дни. Това обяснява защо установените до момента акумулации са от биогенен газ.

Събитийна диаграма

Получената събитийна диаграма е показателна затова, че времето на формиране на капаните в обхвата на ДКБ изпреварва времето на генерация, миграция и акумулация на въглеводородите. Освен това, след Савската нагъвателна фаза територията на България (в частност изследваният район) не е засегната сериозно от последващи нагъвателни фази, което съвпада с времето на съхраняване на акумулациите и е отлична предпоставка за формиране на залежи. Началото на съхраняване на акумулираните въглеводородни продукти в първичния капан, маркира т. нар. "критичен момент" на петролната система. В случая той се отчита към началото на миоценската епоха (преди около 22 млн. г.). Генерираните в олигоценските глини въглеводороди, чрез латерална и вертикална миграция на север и латерална миграция на юг и запад от активното генерационно огнище, са се акумулирали в подходящи капани от структурен (Галата, Каварна, Каварна изток, Калиакра, Самотино море) и стратиграфски (Приселци, Ново Оряхово) тип. В основата на протичащия процес на вторична миграция е стремежът на въглеводородите да се движат от по-високи към пониски налягания (от по-голяма към по-малка дълбочина). Вторичната вертикална миграция се е извършила по Близнашкия екстензионен, листричен разлом. В зоната на този разлом се получава директен контакт между олигоценските газомайчини скали и горнокредните и палеоценски карбонатни седиментни скали (фиг. 2).



Фиг. 3. Диаграма на историята на басейновото погребване. Глините на Русларска свита са навлезли в ранен стадий на "нефтен прозорец"



Фиг. 4. Събитийна диаграма, на която са показани елементите на петролната система и времето на протичане на процесите, които я характеризират като действаща. Ключов за системата е т.нар. "критичен момент"

Установени въглеводородни акумулации

Списък с откритите в рамките на ДКБ въглеводородни акумулации и някои основни данни, свързани с тях, е представен в таблица 1. Според руската класификация на залежите по оценени запаси, те влизат в графите "малки" и "много малки". Във всяка една от акумулациите е отчетен сух метанов газ и по този признак, както и според изотопното отношение C¹²/C¹³, може да се заключи, че става въпрос за генерация на биогенен газ (Sachsenhofer et al., 2009; Georgiev, 2012), т.е. степента на зрялост на органичното вещество е ниска. Сходството в химичния състав на газовите акумулации подсказва, че въглеводородите са генерирани от едно и също генерационно огнище.

Заключение

Установените до момента в границите на ДКБ въглеводородни акумулации, проявления и разтворен в пластовите води газ, дават основание да се идентифицира действаща петролна система. Според правилата за наименуване, заложени в концепцията за петролните системи, тя е определена като Русларско-Палеогенска (!). Сондажните, сеизмичните и геохимичните данни, позволяват да бъде направено географското и стратиграфско привързване на петролната система, която се намира в ранен стадий от своето развитие (акумулациите и проявленията са основно от биогенен газ).

Получените модели на историята на погребване в ДКБ и събитийната диаграма и фиксираният критичен момент на системата (към началото на миоценската епоха - преди около 22 млн. г.) дават основание да се смята, че съществуват много добри предпоставки за формиране на въглеводородни залежи.

Направената интерпретация и картирането на елементите на петролната зона благоприятства постигането на по-висока ефективност на бъдещите търсещо-проучвателни дейности и се явява предпоставка за оптимизиране и калибриране на данните, заложени при моделирането на геоисторичното развитие на ДКБ и възникналата в него Русларско-Палеогенска (!) петролна система.

Газова Година на Възраст и литостратиграфска Литоложки тип Запаси Депозона от ДКБ акумулация откриване привързаност на колектора на колектора млрд. m³ Галата 1993 г. Горна креда (Кайлъшка свита) карбонатен 1,5 предиздатина 2007 г. 1,2 Калиакра Палеоцен (Комаревска свита ?) карбонатен предиздатина Каварна 2008 г. Палеоцен (Комаревска свита ?) 0.9 карбонатен предиздатина 2010 г. 0.4 Каварна изток Палеоцен (Комаревска свита ?) карбонатен предиздатина Приселци 1955 г. Олигоцен (Русларска свита) 0,3 теригенен предиздатина 0.2 Ново Оряхово 1949 г. Горен еоцен (Авренска свита) теригенен фордийп Самотино море 1986 г. Среден еоцен (Авренска свита) 0.1 теригенен над орогенния клин

Таблица 1.

Промишлени и непромишлени газови акумулации, установени до момента в различни депозони от ДКБ

Литература

- Allen, P. A. & J. R. Allen (2nd ed.). Basin Analysis: Principles and Application. Blackwell Scientific Publications, USA, 2005. - 549 p.
- Botoucharov, N., Y. Stefanov. Thermal modelling of the Cretaceous-Neogene history in Dolna Kamchia basin (onshore Bulgaria). Fourth International Geomodelling Conference, GeoMod 2010, Modelling in Geosciences, 27-29 September, Lisbon, Portugal, Disc of the Conference Extended Abstracts, 2010. - 1-4.
- Chouparova, E., N. Suzuki, P. Bokov. Modelling of subsidence and thermal history of Paleogene sequence in Dolna Kamchija depression, Western Black Sea basin. Geologica Balcanica, 23.4, 1993. - 65-78.
- Demaison, G., B. J. Huizinga. Genetic Classification of Petroleum Systems. - AAPG Bulletin, 75, 10, 1991. - 1626 - 1643.
- Dow, W.G. Application of oil-correlation and source rock data to exploration in Williston Basin. AAPG, Bulletin, 58, 1974. - 1253-1262.
- Georgiev, G. Geology and Hydrocarbon Systems in the Western Black Sea. Turkish J. Earth Sci., 21, 2012. - 723-754.
- Magoon, L.B. The petroleum system—A Classification Scheme for Research, Resource Assessment, and Exploration (abstract); AAPG Bulletin, 71, 1987.- 587 p.

- Magoon, L.B. The petroleum system—A Classification Scheme for Research. Resource Assessment, and Exploration, in Magoon, L.B. (ed.), Petroleum Systems of the United States; USGS Bulletin, 1870, 1988. - 2-15.
- Magoon, L. B. The play that complements the petroleum system-a new exploration equation: Oil & Gas Journal. 93. 40. 1995. - 85-87.
- Magoon, L. B., W. G. Dow. The petroleum system from source to trap. - AAPG Memoir 60, Tulsa, Oklahoma, 1994. - 645 p.
- Magoon, L. B., E. A. Beaumont. Petroleum Systems. In: Exploring for Oil and Gas Traps (Treatise of Petroleum Geology, Handbook of Petroleum Geology Series), by Edward A. Beaumont (Author, Editor), Norman H. Foster (Editor), Chapter 3, 2003.
- Perrodon, A. Géodynamique pétrolière. Genèse et répartition des gisements d'hydrocarbures: Paris, Masson-Elf-Aquitaine, 1980. - 381 p.
- Sachsenhofer, R., B. Stummer, G. Georgiev, R. Dellmour, A. Bechtel, R. Gratzer, S. Coric. Depositional environment and hydrocarbon source potential of the oligocene Ruslar formation (Kamchia Depression; Western Black Sea). Marine and petroleum geology, 26, 2009. - 57-84.

Статията е рецензирана от доц. д-р Е. Занева-Добранова и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и проучване на полезни изкопаеми".

CORRELATIONS BETWEEN ELEMENTS IN ORES FROM THE GOLD-COPPER DEPOSIT CHELOPECH, BULGARIA

Dimitar Petrov, Kamen Popov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; dimitar@sitost.com

ABSTRACT: The correlations between major and minor chemical elements in the ores from Chelopech gold-copper deposit are established by statistical processing of 19,200 multi-element ICP analysis of samples, analyzed for content of 36 elements (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Ti, V, W, Y and Zn). The studied elements are analyzed by computing of the correlation matrix, which marks some well developed relationships between pairs of elements, such as Fe-S, Cu-As, Cu-Bi, Cu-Cd, Cd-As, K-Na and other. An inverse correlation of the elements, involved in composition of main ore minerals in the deposit (Fe, Cu, Au, As, S), and highly mobile elements (K, P, Y, La, Rb), which are extracted from the rocks in the hydrothermal processes is observed. The correlation scatterplots of some typical elements with strong, moderate and weak relationships are prepared. Particular attention in the interpretation of results is paid to rhe elements with high positive correlation coefficients and participating in composition of ore minerals and mineral associations found in the deposit. Trends of correlation of typical trace elements in primary and secondary ore minerals with main mineral-forming elements are established (Cd-Cu, Cd-As, Co-Fe, Co-Au, etc.). The increased content of Cu in the sphalerite from the central sectors of ore bodies in the deposit is the result of so called "chalcopyrite disease", which is the most likely reason for the high correlation between the Cu and Cd. Frequent impurities of Co, Te, and Se in pyrite are the reasons for the average high correlation of Fe with these elements. The results of present study indicate that the correlation analysis is a powerful tool for establishing interdependences between the chemical elements, involved in the composition of the ore and host rock minerals in Chelopech deposit.

Key words: correlation, chemical elements, ore minerals

КОРЕЛАЦИОННИ ВРЪЗКИ МЕЖДУ ЕЛЕМЕНТИТЕ В РУДИТЕ ОТ ЗЛАТНО-МЕДНО НАХОДИЩЕ ЧЕЛОПЕЧ, БЪЛГАРИЯ Димитър Петров, Камен Попов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, dimitar@sitost.com

РЕЗЮМЕ. Корелационните връзки между главни и съпътстващи химични елементи в рудите от златно-медно находище Челопеч са установени чрез статистическа обработка на 19200 броя мултиелементни ICP анализи на проби, изследвани за съдържание на 36 елемента (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Ti, V, W, Y и Zn). Изследваните елементи са анализирани чрез изготвяне на корелационна матрица, която маркира някои изявени връзки между двойки елементи като Fe-S, Cu-As, Cu-Bi, Cu-Cd, Cd-As, K-Na и други. Наблюдава се обратна корелационна зависимост между елементите, участващи в състава на главни рудни минерали в находището (Fe, Cu, Au, As, S), и силно мобилните елементи (K, P, Y, La, Rb), които се извличат от скалите при хидротермалните процеси. Изготвени са корелационни диаграми на някои типични елементи с изявена силна, средна и слаба взаимовръзка. Особено внимание при интерпретацията на резултатите е обърнато на елементи с висок положителен коефициент на корелация помежду си, и участващи в състава на рудните минерали и минерали асоциации открити в находището. Установени са тенденции на взаимовръзка на типични елементи-примеси в главни и второстепенни рудни минерали сосновни минералодището. Установени са середно високата взаимовръзка на типични елементи св сфалерита от централните участъци на рудните тела в находището са резултат от т. нар. "халкопиритова болест", което е най-вероятната причина за високата корелация между Си и Cd. Чести примеси от Co, Te и Se в пирит са причина за установяване на взаимовръзка на Fe с тези елементи. Резултатите от настоящото изследване показват, че корелационният анализ е мощен инструмент за установяване на взаимозависимости между химични елементи, участващи в състава на рудните минерали и вместващите скали в находище Челопеч.

Ключови думи: корелация, химични елементи, рудни минерали

Introduction

The Chelopech deposit is one of the largest gold and copper deposits in Europe, contributing to the advancement of the Republic of Bulgaria to 2nd place in the gold mining industry in the European Union and the 42nd in the World in 2015th year (Reichl et al., 2015).

The main task in present study is clarification of correlations between major and minor chemical elements in the ores of the gold-copper deposit Chelopech. The received results helps to confirm the known geochemical zonal models and the relationship between ore-forming processes and hydrothermal alterations, took place in the deposit.

Materials and methods

The correlations between major and minor chemical elements in the ores from the gold-copper deposit Chelopech are established by statistical processing of 19,200 multielement ICP analysis of samples, analyzed for content of 36 elements (Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Te, Ti, V, W, Y and Zn). The multi-elemental analyses of samples are kindly provided by the Geological Department of "Dundee Precious Metals Chelopech" EAD. The statistical analyses are carried out using the software STATISTICA of the company STATSOFT.

The correlation between the studied chemical elements is analyzed by making the correlation matrix and determining the levels of significance of the correlation coefficient. The correlation coefficient (r) takes any value from the range -1 ÷ +1. The sign plus or minus in front of correlation coefficient indicates the direction of this relationship, i.e. whether the elements are positively or negatively correlated. The absolute value of the coefficient shows the size of the correlation. The received correlations provisory are divided into four categories, depending on the absolute value of the correlation coefficient, namely: independent elements (r <± 0.3), elements with a weak (± 0.3 ≤ r <± 0.5), a moderate (± 0.5 ≤ r <± 0.7) and a strong (r ≥ ± 0.7) correlations.

Results and discussion

Pre-processing of data has the character of independent study that is relatively the most complex and of the utmost importance for the correct implementation of subsequent statistical procedures. The initial "acquaintance" with multielemental analysis showed that nearly 2,400 consecutive samples does not analyzed for the content of Pb and Zn, and some of the elements (Hg, Ti, Sn, Be and Ag) are below detection limits in most samples. These consecutive samples that are missing data for content of Pb and Zn are excluded from the total volume of analyzed data.

The statistical processing, analysis and interpretation is carried out on a group of data, obtained after the removal of possibly erroneous chemical analyzes and samples with anomalously high contents of some of the elements, as well as samples that have not analyzed for all chemical elements in the surveyed population. The elimination of anomalously high values of some of the elements increases relationship between some pairs of elements and weakening others. After processing of data, a modest increase in the coefficient of correlation of Au with the elements S, Te and Ag is established. The comparative analysis of the results shows, that the removal of samples with anomalously high contents in the studied group strengthens existing correlations, even at lower contents of the relevant element in the samples. This data processing is useful, regarding establishment of relationships between elements like Rb, Sr, Y, K, P, Mn and others related to hydrothermal alterations of host rocks, with those (Cu, Au, Fe, S, As, Sb , Bi, Ag), participating in the composition of main and secondary ore minerals in the deposit.

The correlation matrix marks some well developed relationships between pairs of elements, such as Fe-S, Cu-As, Cu-Bi, Cu-Cd, Cd-As, K-Na and other (Table 1). Elements such as Hg, W, Mo, Cr and P showed a lack of correlation with all other elements of the group. A typical correlation scatterplots of elements are presented below (Fig. 1). Particular attention in the interpretation of results is given to

elements with a high positive correlation coefficient between themselves, and participating in the composition of the ore minerals and mineral associations in the deposit.

The scatterplot of Fe and S shows a relatively homogeneous data, distributed near the correlation line. The group of samples with anomalously high contents of Fe in the amount of 15%, which is the upper detection limit of the element, is established (Fig. 1 a.). Probably these samples are erroneous results from the chemical analysis, but the visual interpretation of figure 1 shows, that they practically do not affect the regression and the correlation between Fe and S. A homogeneity of data, confirming the accuracy of the obtained high correlation coefficient between the elements Cu and As (r=0.93), is distinctly observed on the presented figure 1 b. On the scatterplot of the pair of Pb-Zn (r=0.73) is seen a less marked homogeneity of the data (Fig. 1 c.). The presence of high correlation (r=0.83) between Cu and Cd is very interesting, as typical carrier of impurities from Cd is sphalerite and it is expected a stronger correlation between Cd and Zn. Mineralogical and geochemical analyses, conducted on polished sections from the Chelopech deposit, shows higher content of Cu in sphalerite from the central parts of the ore bodies in the deposit, which is a result of so-called "chalcopyrite disease", typical for ore sectors with a high degree of hydrothermal alteration in such type of epithermal deposits. The widespread "contamination" of sphalerite with chalcopyrite is the most likely reason for the high straight correlation between Cu and Cd (Fig. 1 d.).

A small number of samples have anomalously high content of some elements (P, Mg, Mo, Sn, K), marked with the upper detection limits on the correlation scatterplots of these elements, which deviate the regression line in one or another direction and affects the accuracy of the estimated correlation coefficient. The accuracy of the correlation coefficient is affecting by anomalously high contents, found as well for the typical elements associated with the ore minerals in the deposit as Cu, Au, Fe, Ag, Bi, Sb and Cd.

The absence of a real correlation between pairs of elements with negative correlations, due to the heterogeneity of the data, is established on the analyzed correlation scaterplots. Almost all observed scaterplots shows two sets of data, in which in increasing the content of one element of the pair in the samples, the value of the other does not change. This fact is observed most clearly, when analyzing the correlation scaterplots of Fe and S with the other studied elements, having negative correlation coefficient with them (K, La) (Fig. 1 e., f.). The visual interpretation of the correlation scatterplots shows, that it is more likely not about high negative correlations, but for the inhomogeneity of the two sets of samples, in which the elements are independent of each other.

The overall correlation characteristic of Au shows, a lack of strong correlation of the element with the rest of the group (Table 1). The presence of moderate to high correlation coefficient between the elements Au, Te and S is a result of the existing gold-containing sulfide minerals and sulphosalts as well as gold tellurides such kostovite, sylvanite and krennerite.

 Table 1.

 The correlation coefficient of elements in the ores from the gold-copper deposit Chelopech.

۲															25-22																			-	0.03
3															-				_	-			_		_								-	-0.09	-0.02
>			-														_			-												-	0.02	0.21	-0.08
F																															-	0.44	-0.01	0.19	-0.03
Te																														-	-0.04	0.15	0.06	-0.27	-0.01
s												1																	-	-0.13	0.17	0.21	-0.03	0.45	0.03
Sn																												-	-0.09	0.50	-0.03	0.15	0.11	-0.18	-0.02
Se																											-	0.32	-0.13	0.49	-0.05	0.12	0.10	-0.30	0.01
Sc																										-	-0.22	-0.12	0.46	-0.19	0.39	0.53	-0.07	0.77	-0.03
Sb																									1	-0.18	0.38	0.42	-0.12	0.49	-0.03	0.17	0.06	-0.25	0.03
s																								-	0.42	-0.43	0.57	0.32	-0.27	0.58	-0.12	0.09	0.06	-0.53	0.01
Rb																							-	-0.41	-0.19	0.30	-0.27	-0.17	0.12	-0.24	0.01	-0.03	-0.05	0.41	0.06
Pb																						1	-0.01	0.12	0.08	-0.09	0.08	0.01	-0.01	0.06	-0.05	-0.08	-0.01	-0.12	0.73
٩																					2	-0.07	0.53	-0.59	-0.31	0.50	-0.36	-0.23	0.32	-0.32	0.13	-0.01	-0.11	0.75	0.04
ïz																				1	-0.22	0.04	-0.16	0.36	0.17	-0.14	0.26	0.16	-0.08	0.27	-0.02	-0.01	0.08	-0.18	-0.01
Na																			-	-0.23	0.78	-0.02	0.54	-0.59	-0.29	0.47	-0.36	-0.25	0.33	-0.34	0.14	-0.07	-0.10	0.66	0.09
Mo																		-	-0.20	0.07	-0.18	0.00	-0.13	0.09	0.07	-0.11	0.10	0.12	-0.07	0.09	-0.03	00.0	0.12	-0.15	0.00
Mn																	2	-0.11	0.36	-0.12	0.48	-0.09	0.31	-0.33	-0.16	0.45	-0.20	-0.11	0.16	-0.17	0.02	0.08	-0.06	0.62	-0.03
Mg																	0.71	-0.11	0.44	-0.13	0.47	-0.14	0.31	-0.36	-0.16	0.61	-0.21	-0.13	0.22	-0.18	0.16	0.25	-0.07	0.69	-0.09
La															-	0.45	0.45	-0.16	0.70	-0.16	0.81	-0.12	0.46	-0.50	-0.25	0.55	-0.30	-0.18	0.35	-0.26	0.16	0.11	-0.08	0.77	-0.02
¥														-	0.67	0.38	0.40	-0.19	0.81	-0.22	0.77	0.00	0.68	-0.59	-0.27	0.44	-0.36	-0.25	0.25	-0.34	0.04	-0.07	-0.10	0.62	0.10
Hg														-0.02	00.00	0.00	0.00	0.05	-0.02	-0.02	-0.03	0.00	-0.01	0.00	0.08	-0.02	0.01	0.04	-0.02	0.00	-0.01	-0.01	0.03	-0.03	0.01
Fe												-	-0.02	-0.61	-0.51	-0.36	-0.34	0.10	-0.61	0.36	-0.61	0.10	-0.43	0.92	0.39	-0.38	0.51	0.29	-0.26	0.51	-0.07	0.13	0.07	-0.53	-0.01
ซิ											-	0.61	0.01	-0.41	-0.31	-0.20	-0.19	0.07	-0.41	0.25	-0.39	0.06	-0.27	0.69	0.65	-0.22	0.52	0.50	-0.16	0.67	-0.04	0.26	0.03	-0.31	0.00
ັວ										-	0.08	0.16	-0.01	-0.20	-0.14	-0.11	-0.12	0.17	-0.20	0.13	-0.18	-0.01	-0.16	0.12	0.08	-0.05	0.08	0.11	-0.02	0.09	0.05	0.05	0.08	-0.12	-0.01
ပိ									-	0.11	0.39	0.61	0.01	-0.33	-0.26	-0.21	-0.20	0.06	-0.34	0.46	-0.32	0.07	-0.23	0.63	0.27	-0.18	0.45	0.21	-0.12	0.43	0.00	0.05	0.05	-0.28	-0.01
B								-	0.32	0.06	0.83	0.48	0.01	-0.30	-0.26	-0.19	-0.17	0.06	-0.30	0.22	-0.30	0.35	-0.20	0.55	0.58	-0.18	0.44	0.45	-0.12	0.58	-0.04	0.17	0.02	-0.26	0.37
ca			_				1	-0.24	-0.26	-0.15	-0.27	-0.46	0.00	0.52	0.60	0.74	0.66	-0.15	0.55	-0.16	0.64	-0.12	0.38	-0.44	-0.22	0.58	-0.28	-0.17	0.38	-0.24	90.08	0.11	-0.08	0.76	-0.05
ö						-	-0.18	0.57	0.31	0.07	0.70	0.41	0.01	3 -0.27	-0.21	3 -0.14	-0.13	0.05	1 -0.27	0.20	9-0.26	0.06	-0.18	0.48	0.42	-0.13	0.42	0.35	-0.05	0.57	-0.03	0.15	0.11	-0.21	0.01
Be					-	-0.23	3 0.57	5 -0.24	3 -0.25	1 -0.22	-0.34	-0.54	-0.01	0.78	0.62	0.48	0.46	2 -0.15	0.74	-0.21	0.76	0.03	0.59	9-0.52	3 -0.27	0.42	-0.32	-0.22	0.22	-0.30	0.02	-0.05	9-0.10	0.59	0.12
Ba				0	0.26	0.11	0.28	3 -0.15	3 -0.18	-0.04	-0.17	-0.30	0.08	0.32	0.35	1 0.27	1 0.18	-0.02	0.32	-0.07	0.26	-0.06	0.23	-0.33	90.0- 8	0.35	-0.15	-0.07	0.34	-0.15	0.12	0.17	0.06	0.34	-0.02
Au		_		5 -0.12	-0.25	0.41	2 -0.19	0.38	5 0.48	0.0	3 0.49	0.47	0.00	5 -0.28	5 -0.21	5 -0.14	5 -0.14	0.07	5 -0.28	3 0.25	3 -0.27	0.08	1 -0.19	0.53	0.36	3 -0.17	7 0.41	0.20	1 -0.10	0.54	-0.0	1 0.12	3 0.04	5 -0.22	0.02
As	_	01	3 0.44	4 -0.1	3 -0.25	2 0.64	4 -0.2	5 0.8	4 0.35	0.0(0.0	1 0.53	3 0.0	5 -0.35	3 -0.2(7 -0.16	1 -0.16	0.0(0.35	5 0.2	2 -0.3	3 0.05	5 -0.24	7 0.60	7 0.62	0.18	2 0.4	1 0.50	1 -0.14	4 0.62	3 -0.0	0.24	0.0	2 -0.2(0.0(
A	6	3 -0.0	4 -0.06	1 0.14	0.0	3 -0.02	70.0 C	1 -0.0	70.0- C	5 0.0(3 -0.0	3 -0.0	1 -0.0	1 0.0	2 0.0	5 0.1	0.0	5 0.0(2 0.0(3 -0.0	5 -0.0	5 -0.0	5 0.0	3 -0.0	7 -0.0	5 0.4(3 -0.0	3 -0.0	7 0.2	9-0.04	4 0.2	5 0.57	2 0.0(2 0.1	1 -0.0
Ag	0.0-	0.3	0.34	-0.1	-0.2(0.4	-0.2(0.4	0.3(0.0	0.4	0.3	0.0	-0.2	-0.2	-0.1(-0.1	0.0	-0.2	0.18	-0.2	0.3	-0.1(0.4	0.3	-0.1	0.3;	0.1	-0.0-	0.3(-0.0	0.0	0.0	-0.2	0.2
	¥	As	Au	Ba	Be	Bi	Ca	ខ	ပိ	ບັ	ວັ	Fe	Рđ	¥	La	Mg	Mn	Ŵ	Na	ïZ	•	Pb	Rb	S	Sb	Š	ŝ	Sn	ŝ	Te	F	>	3	7	Zn

The strong correlations are bolded, moderate - bold and italic.



Fig. 1. Scatterplots of some typical correlations, obtained from analysis of elements.

The cobalt is a typical element-impurity in pyrite and its weak, but distinguished correlation with Au, is due to the common mineral association of pyrite with natural gold, gold-containing minerals, as well as a mineral inclusions of natural gold in pyrite. The absence of correlation (independence) of gold with the elemental association Pb-Zn indicates the presence of geochemical and spatial zonation of gold and galena-sphalerite mineral association within the deposit.

The constant presence of the As-containing copper sulphosalts as enargite, luzonite and tenantite in studied samples of the ore bodies is a reason for the very strong correlation of Cu with As and its stable relationship with sulfur. This strong relationship confirms the intermediate Cu-As-S oreforming stage in the gold-copper deposit "Chelopech", proposed by Bonev et al. (2002). According to the same authors, this main hydrothermal stage is auriferous and led to formation of the economical mineralization in the deposit with mineral association, represented by enargite, luzonite, covellite, goldfildite, chalcopyrite, tenantite, bornite and natural gold.

The moderate correlation between Cu and Sb, is due to the Sb-containing main (tetrahedrite) and secondary (famatinite) ore minerals in the deposit. The Te-bearing tetrahedrite, when Sb> (Te+As) or goldfildite, respectively when Te> (As+Sb) in the ores from the deposit, are likely to be due for the moderate correlation coefficient of Cu with Sb (0.65) and Te (0.67).

The iron is presented in the form of iron sulphides (mainly pyrite), also in the composition of chalcopyrite, bornite and other main and secondary minerals in the "Chelopech" deposit. The strong correlation between Fe and S (r = 0.92) indicate this mineral expression of the element (Table 1). Microprobe analyzes, carried out on polished sections from the deposit (Petrov et al., 2013), indicate the presence of Cu, Co and Ni, and limited amounts of Te and Se, as elements-impurities in the composition of pyrite crystals. This is the reason for the moderate levels of correlation of Fe with the elements Co, Ni, Te and Se (Table 1).

The weak correlation of elemental association Pb-Zn with other elements is established from the results of correlation analysis for all studied elements. A low to moderate correlations is observed only between Zn and Cd (r = 0.37), and Pb and Ag (r = 0.35), which are result of the frequently established impurities of Cd in sphalerite and Ag in galena, within the ore bodies of the deposit.

A group of chemical elements are particularly sensitive to the hydrothermal processes and resulting wall-rock alterations, taken place into the studied type of deposit, according to some authors (Hikov, 2001, 2005; 2013; Georgieva et al., 2002; Georgieva, 2014). Elements such as Zr, Cr, V, Ga, Ti show an inert character, until other group of elements (Rb, Y, Mn, Co, K) are very mobile and are extracted from the rocks during hydrothermal processes (Hikov, 2001). The behavior of strontium is of particular interest because it is extracted from the external and concentrated in the inner advanced argillic zone, which Hikov (2001) associate with the dissolution of apatite from volcanic rocks and the formation of aluminumphosphate-sulphate (APS) minerals. In this regard, on the correlations of elements, sensitive to the hydrothermal alterations, is made further analysis, which helped to clarify the mutual dependence of the ore-forming elements with these typical for hydrothermal alterations. The analysis include Co, Mg, Mn, Rb, Sr, Ti, V, Y, K, Sc, La, and P, which indicate high (Co, Mg, Mn, Rb, Sr, Y, K, P) or low (Ti, V, Sc, La) mobility during the hydrothermal alterations, in addition to the elements typical for the ore minerals and mineral associations in the deposit as Au, Aq, Cu, Fe and As.

The inverse correlation of Fe with almost all typical for hydrothermal alterations elements is clearly shown in Table 1. It is noteworthy the moderate to high negative correlation of Fe with the elements K, La, P and Y, whose contents are substantially reduced in the advanced argillic zones in the deposit. These results supports the proposed by Terziev (1965) model, in which ore-forming processes started after the beginning of hydrothermal alterations and run simultaneously with them, such as the formation of Fe-bearing minerals is

directly related to the degree of alteration of the host rocks, marked with removal of K, La, P and Y, as well as Rb and Sc from the advanced argillic zones.

The element Cu, participating in the composition of the main and secondary ore minerals from the deposit, logically showed no relationship to weak negative correlation with the typical for hydrothermal alterations studied group of elements (Table 1). Especially clear is this opposite relationship with the elements K, P, Y and La, whose concentrations are lowest within the central parts of ore bodies.

A high positive correlation coefficients of Y with La (r=0.77), Sc (r=0.77) and P (r=0.75), and moderate negative correlations of the element with Fe (r= -0.53) and S (r=-0.53) are established (Table 1). Further more detailed analysis should be made on relationships of Y with other elements included in the composition of the ore minerals, because the element is a highly mobile and typical for the hydrothermal alterations in the "Chelopech" deposit.

Conclusions

The analysis of correlation between the studied elements is helped to clarify the relationship between the ore-forming processes and hydrothermal alterations, taken place in the "Chelopech" deposit.

Some well developed relationships between pairs of elements, such as Fe-S, Cu-As, Cu-Bi, Cu-Cd, Cd-As, K-Na and other are established. An inverse correlation of the elements, involved in composition of main ore minerals in the deposit (Fe, Cu, Au, As, S), and highly mobile elements (K, P, Y, La, Rb), which are extracted from the rocks in the hydrothermal processes is observed. Trends of correlation of typical elements-impurities in main and secondary ore minerals with ore mineral-forming elements are established (Cd-Cu, Cd-As, Co-Fe, Co-Au, etc.).

The increased content of Cu in the sphalerite from the central sectors of ore bodies in the deposit is the result of so called "chalcopyrite disease", which is the most likely reason for the high correlation between the Cu and Cd. Frequent impurities of Co, Te, and Se in pyrite are the reason for the average high correlation of Fe with these elements.

The strong correlation between lead and zinc and absence or their weak correlation with other elements clearly emphasizes the existence of mineral zoning in the deposit and the spatial distribution of galena-sphalerite mineral association in marginal sectors of the ore bodies.

The results of present study indicate that the correlation analysis is a powerful tool for establishing interdependences between the chemical elements, involved in the composition of the ore and host rock minerals in Chelopech deposit.

Acknowledgements. The authors should like to thank to the Geological Department of "Dundee Precious Metals Chelopech" EAD for their support during the realisation of this study.

References

- Bonev I., T. Kerestedjian, R. Atanassova, C.J. Andrew. Morphogenesis and composition of native gold in the Chelopech volcanic-hosted Au-Cu epithermal deposit, Srednogorie zone, Bulgaria. *Miner Deposita*, 37; 2002 -614-629
- Georgieva, S., R. Petrunov, R. Morith, I. Chambefort, S. Jacquat. Hydrothermal alteration assemblages of the Au-Cu Chelopech deposit, spacial and temporal development. In: *Geode Workshop on the Srednogorie zone*. April 20 & 21, 2002. Abstract volume 5
- Georgieva, S. Mineralogy and zonal development of hydrothermal modifications in Chelopech deposit and relationship with mineralization. Abstract PhD dis., 2014. -52 p (in Bulgarian)
- Petrov, D., S. Strashimirov, S. Stoykov, M. Karakusheva. New data for the mineral composition of ores in the western sector of the gold-copper Chelopech. Ann. Univ. Min. Geol. "St. Iv. Rilski", 56, 1, 2013. – 39-46

- Reichl, C., M. Schatz, G. Zsak. *World mining data*. WMC, vol. 30, 2015. 261 p
- Terziev, G. Some mineralogical and geochemical features of the Chelopech deposit. Docl. VII Congress. KBGA, 3, 1965. - 233-238 (in Russian)
- Hikov, A. Metasomatic zoning and geochemistry of rare elements in hydrothermally altered Upper Cretaceous vulcanites near the peak Pesovets, Panagyurishte. *Geochem, Mineral. and Petr.*, 38, 2001. - 101-111 (in Bulgarian)
- Hikov, A. Geochemistry of strontium and other rare elements in hydrothermally altered rocks from the Petelovo deposit, Central Srednogorie. *Geochem, Mineral. and Petr.*, 42, 2005. - 95-112 (in Bulgarian)
- Hikov, A. Geochemistry of the zones of advance argilic alteration in deposits from the Srednogorie and the Rhodopes. Abstract. PhD dis., 2013. - 62 p (in Bulgarian)

The article is reviewed by Assoc. Prof. Kalin Rouskov and recommended for publication by the Department "Geology and Exploration of Mineral Resources".

ОСНОВНИ РАЗЛОМНИ ЗОНИ В УЧАСТЪК "ЗАПАДЕН" НА НАХОДИЩЕ "ЧЕЛОПЕЧ"

Мартин Добрев¹, Петя Кузманова²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, martin.dobromirov.dobrev@gmail.com ²Дънди Прешъс Металс Челопеч" ЕАД, 2087 с. Челопеч

РЕЗЮМЕ. Високо сулфидизираното златно-медно находище "Челопеч" е част от Елашко-Челопешкото рудно поле и се намира в Челопешката вулканска структура под Челопешката синклинала. Геоложките данни, събирани в процеса на експлоатация, дават възможност за по-детайлно разглеждане на Челопешката свита, вместваща рудните тела на находището. Настоящият доклад ще разгледа Западния участък на находището (северно от Задбалканския дълбочинен разлом - Бончев, 1961), в който, в резултат на дигитализацията на официалните структурно-геоложки карти от подземната картировка, са дефинирани основни разломни зони. Те несъмнено са контролирали процеса на околорудна метасоматоза, както и самото орудяване. Установяването на основни разломни зони, опредялянето на техния характер и влияние в скалния масив е динамичен процес, свързан с анализ и интерпретация на геоложки данни от експлотационно-проучвателното сондиране и подземната геоложка картировка.

Ключови думи: геоложки структурен модел, разломни зони, находище "Челопеч"

FAULT ZONES IN WEST PART OF "CHELOPECH" DEPOSIT Martin Dobrev, Petya Kuzmanova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, martin.dobromirov.dobrev@gmail.com

ABSTRACT. Epithermal high sulphidation gold-copper deposit "Chelopech" is located in "Elatzite-Chelopech ore region in Chelopech volcanic structure under the Chelopech syncline. Geology data collected in process of production give opportunities for more detail view of rock volume hosting the deposit. The paper will look over west part of the deposit (north from Sub-Balkan deep fault - Bonchev, 1961) were in result of digitalization of geology-structure plans from underground mapping are define major fault zones. No doubt they control process of alteration and ore deposition. Defining of fault zones and their character is dynamic ongoing process with interpretation of geology data from production drilling and underground geology mapping.

Key words: geology structure model, fault zones, Chelopech deposit

Въведение

Районът на находището е част от Старопланинската и Средногорската структурна зона. За граница между тях се приема Задбалканския дълбочинен разлом. При проучването на находището са предложени няколко структурни модела. Мутафчиев (1967) е установил две системи разломи по-стари от минерализацията. Едната с посока 80-100°, затъваща стръмно на юг под ъгъл 60-80°. Втората е с посока 70-90° и наклон 70-80° на север. Тя се приема за рудопроводяща и рудоконтролираща. Андреев и др. (1968) отделят три системи разломи, като една от тях съвпада с оста на синклиналата. Терзиев (1968) представя три субпаралелни разломни зони с изток-западна посока, разположени кулисообразно с отстояниие ≈200m. Моев и др. (1978) дефинират две посоки по удълженията на дайките и субвулканските тела 60-70° и 100-110°. В местата на пресичане се развива най-интензивна вулканска дейност. Попов, Мутафчиев (1980) правят изследвания на структурата на рудното поле и отделят две групи разломи: 60-70° и 110-140° (основни рудоконтролиращи структури). Попов, Мутафчиев (1980) и Попов и др. (1983) предполагат калдерно развитие на Челопешкия вулкан и маркират радиални и концентрични разломи, като рудоконтолиращи. Jelev et al. (2003) предлагат отваряне на ЮЗ-СЕ сегмент на Задбалканския разлом, в следствие на дясно отсядане, при което се развива и основната вулканска дейност.

Методика

В процеса на добив се извършва подземна геоложка картировка в мащаб 1:200, при която се отделят структурни нарушения, литоложки граници и метасоматични околорудни промени (главно интензивно аргилизирани скали, с които се свързва промишлената минерализация). Теренната геоложка документация се нанася на официални структурно-геоложки планове (А1) върху паус или хартия. Използва се локална координатна система с нанесени маркшайдерски снимки на минните изработки. Плановете са над 130 и съдържат информация за всички минни изработки в рудника (минни хоризонти, капитални изработки за достъп). Информацията от тези планове е дигитализирана и е създаден тримерен модел на структурните нарушения. Той е в основата на интерпретацията на генерализираните разломни зони в разглеждания участък. Освен информацията от подземната геоложка картировка, за дефиниране на тези зони се използват описаните структурни нарушения от сондажната ядка. В нея най-често са използвани интервалите с интензивно натрошаване в следствие на предполагаем разлом или система от пукнатини, както и единични разломи и пукнатини. В процеса на сондиране сондажната ядка се ориентира посредством инструмент ORIFINDER®. Интервалите, в които тя е ориентирана, успешно се извършват структурни замери на отделни разломи или пукнатини, които допълват модела. В процеса на изграждане се съблюдават няколко фактора, които дефинират основна разломна зона.

- Издържаност в пространството (проследимост). Установена е в множество минни изработки, най-често на повече от три минни хоризонта и приблизително близки структурни замери, съвпадащи с очакваното им местоположение според съседните хоризонти и изработки.
- Потвърждение от структурно-геложкото описание на сондажната ядка в интервалите на очаквано пресичане с разломните зони. Сондажите, преминаващи в зоните между изработките, могат да потвърдят или оспорят съществуването на разломна зона.
- Контрол на метасоматичните промени. Много често разломи, явяващи се гранични за минерализацията, са лесно проследими в рамките на блока. Само малка част от площа на разломните зони е гранична за минерализацията. В тези участъци прокарването на различни изработки (галерии, сондажи) в процеса на добив, спомага за проследяването им. Не се изключва възможността разломни зони да преминават и през блоковете, но са трудно различими, поради интензивните околорудни промени.
- Множеството харниши, с разнообразна кинематика в разломните зони, затрудняват еднозоначното определяне на движението по разломите. Присъствието им говори за сложна геотектонска обстановка и

реактивации на вече съществуващи структури в масива.

Описание на разломните зони

При комбинирането на структурно-геоложки данни (от сондажна ядка и подземна картировка) се отделят следните основните разломни зони в Западен участък на находището: "040", "150SE", "150NW", "151SE", "103SW" (фиг. 1); Името изхожда от позицията им спрямо минерализираните блокове в находището (с изключение на "040", която получава името си от ориентировката си).



Фиг. 1. Схематичен план на хоризонт 280 с разломните зони в Западен участък

Разломна зона "040"

Разломната зона между блокове 150 и 151 е едно от отдавна установените и изявени структурни нарушения в



[P(dd)] FZ040_Hangingwall1.txt (great circle) n=105

[P(dd)] FZ040_Hangingwall1.txt (poles to planes) n=105

Density 17.04 15.14 13.25 11.36 9.47 7.57 5.68 3.79

1.89

Poles to Planes [P(dd)] FZ040_Hangingwall1.txt

Maximum density: 17.0 % at 205.7/7.4 (pole) 25.7/82.6 (plane)

Grid detail: Low

Counting method: Fisher Distribution

Фиг.2. Стереографска проекция повърхнини и полюси към тях на разломна зона "040"

находището. Зоната е вместена между окварцените обеми на двата блока. Генералната ориентировка на разломната зона е със страна 040° и стръмен наклон 75-85° (фиг. 2). В различните изработки, с които е пресечена, замерите варират от 5° до 10°. Понастоящем интерпретацията на разлома, като обемно тяло започва от кота 430 и продължава в дълбочина до кота 70. Действителната му дълбочина е неизвестна, но предвид, че това е едно от основните структурни нарушения в находишето, се приема за значителна. За отделянето й като самостоятелна структурна единица спомагат данните от подземната геоложка картировка на минните изработки от блокове 150, 151 и Западна наклонена галерия. Голям обем данни за нарушенията са получени и от сондажите. Зоната е значителен елемент от цялостната картина на Западен участък и се приема като граница между вторичните кварцити, вместващи минерализацията на блокове 150 и 151.

Във високите си хоризонти (>330) разломният сноп има страна 040°, най-вече в зоната между блокове 150 и 151 в югоизточната си част. Той "обтича" североизточната граница на блок 103, като в този участък страната му става 020°. В северозападна посока, според данни от Западна наклонена галерия, разломът също "повива" със страна 020°, като могат да се интерпретират и апофизи със сходна ориентировка. Излаз на разломната зона на повърхността не се наблюдава. По-вероятно е тя да стига границата на вулканитите с пясъчниците. Твърде е възможно по-късни движения (реактивации) на зоната да са разломили и лежашите отгоре седименти. но характерът на разломяването да е различен предвид различната литоложка среда. Ако зоната продължава в лежащите седименти, то на повърхността ще местоположението и ще съвпадне с обрушовката на Блок 151 (фиг. 2). Ако запазва генерално направлението си и пресича седиментите зоната би преминала югозападно от "Чуговишко дере", в близост до билото и седлото до параклиса "Св.Петка".

В средните хоризонти (330-130), зоната следва границите на вторичните кварщити и в нея се наблюдават вариации на дебелината, най-вероятно причинени от пресичането на други тектонски зони от находището (пограничните на 150 и 151).

В долните си части (хоризонти 130-70), тектонската зона постепенно променя направлението си на 070°. Установява се разделяне на две системи разломни снопове: една ≈200/85 °, която се наблюдава северно от 151-ви блок в западната наклонена галерия и една, която се явява западния контакт на 150-ти блок сред интензивна аргилизация. По цялата площ в разломната зона могат да се наблюдават различни взаимоотношения на залбандите с вместващите скали. В находището зоната "обтича" окварцените тела на блоковете, но се наблюдава и блоков строеж на зоната, където са "заключени" окварцени тела, заграбени и разместени или образувани на място, с тектонски контрол на границите им. Възможно е разломната зона да е спомогнала за интензивна аргилизация в близост до блоковете. Границите на разломната зона в такава среда са по-трудни за дефиниране. На места се наблюдава ясно изявена фолиация в аргилизацията, непосредствено до тектонските глини и брекчи. Скалите, засегнати от този тип фолиация, могат да се определят като част от разломната зона и значително да повишат дебелината й. Това се наблюдава особенно в зоните на склонение с югоизточния и северозападния контакт на Блок 150.

В интервала 330-360 не са прокарани голямо количество сондажи, но в съществуващите се наблюдава аргилизация с фолиация и повторение в направлението на разломите и пукнатините.



Фиг. 3. Местоположение на разломната зона и евентуалния и излаз на повърхността ЮЗ от "Чуговишко дере"

Разломна зона "150SE"



Фиг. 4. Стереографска проекция повърхнини и полюси към тях на разломна зона "150SE



Фиг. 5. Разрез (Запад-изток) с границата между Блокове 150 и 152 и сеченията на сондажите с интензивно натрошаване и разломяване.

Стръмнозатъваща на ЮИ (136/63°) разломната зона се явява гранична за Блок 150. Между хоризонти 210 и 100 тя е гранична между Блокове 150 и 152. Високите съдържания на полезни компоненти и в двата блока са най-вече в близост до зоната. На едно и също хипсометрично ниво се установява различно орудяване в двата блока. Блок 150, който е с по-разнообразен минераложки състав (енаргит, тенантит, пирит, халкопирит) е и с по-високо съдържание на мед и злато. Във висящото крило на разломната зона (Блок 152) се установява ограничено присъствие на тенантита и енаргита, като преобладава пиритът. Възможно е, в процеса на минерализация разломната зона да е била активна и да е контрилирала хидротермите, като е ограничила енаргит-тенантитовата минерална асоциация в Блок 152. Разломната зона е издържана и картирана на хоризонти от 150-ти блок. Около хоризонт 300 се наблюдава блоково разместване на зоната. Границата на блока е усложена от единични по-млади изток-западни

разломи. Преместванията по тях са с отседен характер по 6-7 m.

Разломна зона "150NW"

Зоната се явява североизточна граница на Блок 150. Няма достатъчно данни за нея над хоризонт 250. В дълбочина до хоризонт 80 се маркира с изключително аргилизирани скали Трудно се дефинират точните й залбанди (фиг. 6). Сред аргилизацията се наблюдава фолиатция с различни ориентировки. Вероятно многократно реактивирана зоната е замаскирана или маскира силната аргилизацията. Дебелината й, особенно в зоната на склонение със Зона "040", е значителна (фиг. 7), като в дълбочина се слива с нея. На североизток накъсва минерализираната зона на 150-ти блок, без следи от значителни движения и се слива със Зона "150SE", като двете продължават към участък "Централен" на находището.

Разломна зона "151SE"

В процеса на прокарване на изработки и погъстяващи сондажи, зоната е променяна многократно. Като елементи, не се различава от "150SE" (страна ≈100°), с изключение на това, че над хоризонт 250 става пополегата (45-50°) (фиг. 8). В дълбочина наклонът й е 70-80°. Разломната зона разделя блокове 151 и 103 (фиг. 9). Във високите хоризонти, поради смяната на наклона, блоковете се раздалечават. Съдържанията на полезни компоненти в Блок 151 (подобно на Блок 150) са високи в близост до зоната. На североизток е интерпретирана до Зона "040", като на север от нея няма достатъчно еднозначни данни за продължаването й. На ЮЗ е интерпретирана основно по сондажни данни.



Фиг. 6. Стереографска проекция повърхнини и полюси към тях на разломна зона "150NW"



Фиг. 7 План на хоризонт 160, където Зона "150NW" (тъмно) се оширява сред силно аргилизирани скали. Коридора на плана е 40m визуализирани сондажи между хоризонти 140-180 с интервалите на интензивно натрошаване (в червени).



Фиг. 8 Стереографска проекция повърхнини и полюси към тях на разломна зона "151\$Е"



Фиг. 9. СЗ-ЮИ разрез през блокове 151 и 103 и Разломна зона "151SE" (светло) с прозорез 40 m и сондажни данни за структурните нарушения.

Разломна зона "103SW"

Установена е въз основа на данни от минни хоризонти на Блок 103, наклонена галерия и сондажите в близост до Блок 103. Направлението на зоната е аналогично на южния контакт на Блок 103. Тя контактува с минерализираната зона на блока (фиг. 10). Като цяло не е с голяма дебелина, но на хоризонт ≈190, в близост до склонението й със Зона" 151SE", се наблюдава силна аргилизация и единични разломи от зоната попадат в нея на ≈30 m от контакта.





Фиг. 10 Стереографска проекция повърхнини и полюси към тях на разломна зона "103SW"

Заключение

При създаване и обновяване на ресурс модела, включващ рудните блокове от Западен участък, се наблюдават трендове в разпределението на анализираните елементи, които могат да бъдат обвързани с основните структурни нарушения, наблюдавани в същия участък: Най-високите съдържания са концентрирани по югоизточния контакт на Блок 150. В Блок 151 завишените съдържания се локализират в източната му част (фиг. 11). Тази област е разположена в непосредствена близост до разломните зони с генерализирани направления СИ-ЮЗ ("150SE","151SE") и СЗ-ЮИ ("040").



Фиг. 11. План на хоризонт 250, с разпределението на високите(в тъмно) съдържания на Аи според блоковия модел на находището.

 Наблюдават се две предпочитани ориентации на дългите оси в създадените тримерни, рудни тела, а именно в СИ-ЮЗ и СЗ-ЮИ посока. Те затъват стръмно на ЮИ, по подобие на разглежданите разломни зони.

Очевидно е наличието на взаимовръзка между минералообразувателните процеси и структурите в находище "Челопеч".

Детайлното изследване на структурните нарушения, създаването на генерализиран модел на главните структурни зони, изясняването на времевата им връзка с минералообразувателния етап, ще доведат до по-добро разбиране на геоложкия строеж, разкривайки възможности за откриване на нови рудни тела.

Разломните зони от структурния модел са най-добре проследени около минните изработки в находището. Продължени са встрани и над телата, с което се получават вероятните им излази на повърхността (фиг. 12). Това



Фиг. 12 Схема със светлосенки на релефа, и вероятните коренни разкрития на разломните зони.

а) горе в ляво - сред седиментни скали;

б) в средата (тъмно) - сред скали от Челопешката свита;
 в) долу в дясно (светло) – кватернер.

дава един различен поглед за структутните нарушения в скалите, вместващи находището. Отваря се възможност за доказването им на повърхността сред коренните разкрития на вулканитите.

Литература

- Бончев, Ек., Ю. Карагюлева. Средногорският антиклинорий и Старопланинския гранитен навлак. -*Тр. геол. Бълг., сер. страт. и тект.* 2; 1961. - 31-42.
- Моев, М., М. Антонов. Стратиграфия на Горната Креда в източната част на Стрелчанско-Челопешката ивица. *Год. ВМГИ*, 23, 2,, 1978. - 7-27.
- Мутафчиев, И. Върху структурата на медно-златното находище "Челопеч", Пирдопско. Год. Ком. Геол., 17, 1967. 131-147.
- Попов, П., И. Мутафчиев. Структура на Челопешкото рудно поле.Структурни условия за локализация на орудяването.- Год. ВМГИ, 25, 2, 1980. - 25-41.
- Попов, П., М. Владимиров, Св. Бакърджиев. Структурная модель полиформационного Челопечского меднорудного поля (НРБ), *Геология рудных месторождений*, 5, 1983. - 3 -11

- Терзиев, Г., Минерален състав и генезис на рудното находище "Челопеч".- Изв. на ГИ БАН и ГК, сер. Геох., мин. и петр., 17, 1968. - 123-187.
- Jelev, V., M. Antonov, A. Arizanov, R. Arnaudova. (2003) On the genetic model of Chelopech volcanic structure (Bulgaria). *50 years. Ann Univ Min Geol. Univer.*, 46, 1, 2003. - 47–51.
- Moritz, R., S. Jacuat, I. Chambefort, A. von Quadt, R. Petrunov, D. Fontignie. Controls on ore deposition at the high-sulfidation Au-Cu Chelopech deposit, Panagyurishte ore region, Bulgaria. - In: Geodinamics and Ore Deposits Evolution of the Alpine-Balkan-Carpatian-Dinaride Province Workshop Abstract volume; Seggauberg, Austria, 2003. - 37-38.
- Strashimirov, S., R. Petrunov, M. Kanazirski. Porphyrycopper mineralization in the Central Srednogorie zone, Bulgaria. *Miner Depos.*, 37, 2002. - 587–598
- Фондови материали:
- Андреев, М., С. Паликарова. "Доклад от геоложката картировка на Красен-Петеловската вулканогенна ивица в М1:5000, проведена през 1966-1967г. Геофонд, IV-0210. 1968.

Статията е рецензирана от доц. д-р Калин Русков и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и проучване на полезни изкопаеми".

GEOCHEMICAL COMPOSITION AND PROPERTIES OF ANTARCTIC SOIL SAMPLES FROM LIVINGSTON ISLAND

Irena Kostova¹, Denitsa Apostolova¹, Ekaterina Filcheva², Laslo Klain¹, Mitko Popov³

¹ Sofia University "St. Kl. Ohridski", Department of Geology, 1000 Sofia

² Institute of Soil Science, Agrotechnologies and Plant Protection "N. Poshkarov", 1080; Sofia,

³ Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia,

ABSTRACT. Soil samples situated near to Bulgarian Antarctic Base in Livingstone Island have been studied morphologically, mineralogically and geochemically in order to understand soil formation processes and to determine major, minor and trace elements content. The analysis of organic matter, chemical analysis, optical microscopy, XRD and LA-ICP-MS were applied. The obtained data show that the processes of the humus formation, respectively soil formation are rather primitive and in very initial stage of formation. The sources of soil organic matter are scarce vegetation (lichens, mosses and rarely grass) remains and bird and penguin excrements, which play an important role on the humus formation processes. The low degree of humification is also due to the presence of very unfavourable climatic conditions. Morphological study shows that the soils are very slightly to slightly transformed and the processes of decay are uncompleted. The minerals identified in soils are quartz, plagioclase, K-feldspar, kaolinite and magnetite. Close connection between the mineral composition of soils and sedimentary rocks, which forms the rock basement was proved. The inorganic matter of soils was produced mainly by physical weathering of the sediments. The most elements in soils are generally around or below the Clark values for the sediments, with the exception of Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, Sr, Cd and partly of As and Pb which exceed two, three or more times the average concentration for sedimentary rocks. The total concentrations of heavy metals and other toxic elements, although some increased amount of Cd, Zn, Pb, Sr and As do not show any definite evidence of local or global anthropogenic contamination.

Keywords: Antarctic soils, geochemistry, mineralogy, humic acids, fulvicacids.

ГЕОХИМИЧЕН СЪСТАВ И СВОЙСТВА НА ПОЧВИ ОТ ОСТРОВ ЛИВИНГСТЪН, АНТАРКТИДА Ирена Костова¹, Деница Апостолова¹, Екатерина Филчева², Ласло Клайн¹, Митко Попов³

1 Софийски университет "Св. Кл. Охридски", 1000 София

² Институт по почвознание агротехника и растителна защита "Н. Пушкаров", 1080 София

³Геологически институт, БАН, 1113 София

РЕЗЮМЕ. Почви от околностите на Българската Антарктическа База на о. Ливингстън са изследвани от морфоложка, минераложка и геохимична гледна точка, за да се изясни процесът на образуването им и да се определи съдържанието на основни, второстепенни и елементи-примеси в тях. Извършени са анализ на органичното вещество, химичен анализ, оптична микроскопия, XRD и LA-ICP-MS. Получените резултати показват, че процесите на образуването им и да се определи съдържанието на основни, второстепенни и елементи-примеси в тях. Извършени са анализ на органичното вещество, химичен анализ, оптична микроскопия, XRD и LA-ICP-MS. Получените резултати показват, че процесите на образуване на хумус (почвообразуването) са доста примитивни и се намират в съвсем начален етап. Източник на органичното вещество в почвата са останки от оскъдната растителност (лишеи, мъхове и рядко трева) и екскрементите на птици и пингвини, които играят важна роля в процеса на образуване на хумуса. Ниската степен на хумификация се дължи и на изключително неблагоприятните климатични условия. Морфоложките изследвания показват слаба трансформация на почвеното вещество и незавършен етап на разлагане на компонентите. В почвите са установени кварц, плагиоклаз, К фелдшпат, каолинит и магнетит. Съществува тясна връзка между минералния състав на почвите и скалите, които формират скалната основа на терена. Неорганичното вещество и почвите е формирано главно в резултат на физичното изветряне на седиментната покривка. Съдържанието на повечето елементи е около или по-ниско от средно статистическата стойност и два, три и повече пъти по-високи в изследваните появи то съдържанието на повечето седиментните скали. Съдържанието на тежки метали и други токсични елементи, въпреки повишеното съдържание на някои от тях (Cd, Zn, Pb, Sr и As) в почвите, не дава основание да се смята, че съществува покално или глобално или глобално антропогенно замърсяване.

Ключови думи: Антарктически почви, геохимия, минералогия, хуминови киселини, фулвокиселини

Introduction

The Bulgarian Antarctic Base "St. Kliment Ohridski" is situated at the eastern coast of the South Bay of the Livingston Island, the second largest among the South Shetland Archipelago. Bulgarian Antarctic scientific research in this region started in 1993 with different programmes: geological, life sciences, glaciology etc.

During the last years the scientists pay a great attention to human impacts on the Antarctic environment. Since the soils

are a major recipient of human disturbances, there have been a number of studies focusing on various aspects of soil disturbances (Ugolini and Bockheim, 2008). Claridge et al. (1995) and Sheppard et al. (1994) are the first, who reported data about metal contamination in soils at Marble Point and around Vanda Station, 40 years after human occupation. Later, other authors also conducted a numerous investigations and estimate the level of concentrations of metals and other toxic elements including As, Cd, Se, Sr and rare earth elements (REE) in the soils sampled from Scott Base and King George Island situated in different Antarctic areas (Sheppard et al., 2000; Lee et al., 2004).

Assessment of the anthropogenic contaminations of soils from King George Island using geochemical markers has been published by Prus et al. (2015). Geochemical characterization of Antarctic soils and lacustrine sediments from Terra Nova Bay and the possible influence of human activity and/or global contamination have been discussed by Malandrino et al. (2009). Claridge et al. (1999) conduct an experiment using lithium chloride as a tracer to answer the question of a possibility of contaminant movement in Antarctic soils. Physical aspects of soil disturbances and means of undertaking assessments were investigated by Campbell et al. (1998). The damage effects of fuel spills on soils and the capacity for remediation by soil organism have been studied by Aislabie et al. (2001) and Balks et al. (2002).

There are two more detailed investigations described the composition, properties and some ecological aspects concerning soils sampling around BAB at Livingstone Island and published by Sokolovska et al. (1996, 2015). In order to better understanding of geochemical and environmental processes which take place in Antarctic soils and other ecosystems two soil samples (respectively North and South of the BAB) were collected from Hurd Peninsula of Livingston Island during the Bulgarian Expedition carried out in 2014-2015. It is the first step of a large scale project for investigation and monitoring of the geochemical composition of Antarctic soils and related sediments around BAB on the Livingston Island and evaluation of its eventual anthropogenic contaminations with heavy metal and other toxic trace elements, which should be conducted during the next few years.

The goal of the present investigation is to specify some main characteristics of soil samples, to define the organic matter (total organic carbon, humic and fulvic acids, humic acid fractions et al.) to describe their mineral composition, to determine the major, minor and trace elements concentrations and to make some speculations regarding the influence of human activities and/or global contamination on the studied soils.

Geological setting

Livingston Island is the second largest of the South Shetland Islands with territory of about 800 km². The Bulgarian Antarctic Base is situated at the Hurd Peninsula. Hurd Peninsula is located in the central part of Livingston Island and is covered by a thick snow-ice cap called Hurd Glacier. Free of ice territory in the vicinity of the Bulgarian Antarctic Base (BAB) differs from 3 to 5 km².

The sedimentary sequences exposed on the peninsula are presented of the rocks of Miers Bluff Formation. The volcanic rocks are intruded by different in composition and age dykes. From a structural point of view, the sedimentary section represents an overturned limb of a large scale monocline (Bonev et al., 2015).

The geological map of the Hurd Peninsula and sedimentary sequence section are given in Figure 1. Two types of rocks – sedimentary and volcanic are expose at that area. They refer

to two major lithostratigraphic units, namely the Miers Bluff Formation, which includes sedimentary rocks and Mount Bowles Formation, which includes volcanic rocks. The Miers Bluff Formation is widely exposed on the west, central and northern parts of the Hurd Penisula where the Bulgarian Antarctic Base (BAB) and sampled area are situated. The formation is characterized by siliciclastic (turbidite) sedimentary sequences (Smellie et al., 1995). The sediments of Miers Bluff Formation are slightly altered, underwent a low grade of metamorphic changes and commonly crossed by dykes, which form additional contact alterations (Pimpirev et al., 2015). Lithologically the Miers Bluff Formation includes various siliciclastic sedimentary rocks: sendstones are dominant (in the lower part), turbidites, presented by alternation of sandstones, siltstones and mudstones (in the middle part), and conglomerates, breccias and breccias-conglomerates (in the upper part) (Fig. 1). The sediments of the formation are strongly compacted, randomly tectonized and slightly altered (Pimpirev et al., 2015). The thickness of the formation exceeds 2600 m. The Miers Bluff Formation consists of five units (South Bay Member, Johnsons Dock Member, Sally Rocks Members, Napier Peak Member and Moores Peak Member) and the sediments from the first one, South Bay Member is reveals in the sampled area.

The sedimentary sequence of the South Bay Member is given on Figure 1. According to Pimpirev et al. (2015) it consists of medium and coarse-grained massive sandstones alternating with thick mudstones and fine-grained sandstones packets. Breccia-conglomerates layers are rarely presented. Plant debris and traces of erosional textures are also observed. The sediments of this member have been deposited in a deltaic setting (Pimpirev et al., 2012). Based on biostratigraphic data and especially the recorded nannofossil associations in the sediments Stoykova et al. (2002) and Pimpirev et al. (2006) determine the geological age of the Miers Bluff Formation as Late Cretaceous, Campanian-Maastrichtian.

Environmental settings and sampling

On a global scale the terrestrial environments of the Antarctic areas are rather dynamic and variable and can be characterized with extremely low temperatures, low moisture availability, frequent changing freeze and thaw cycles, scarce vegetation cover, and limited amount of organic matter (Convey, 1996). Only 10% of the territory of Livingston Island from the total about 800 km² is ice and snow free for the short period during the Antarctic summer. These areas are largely confined to the surface of the island and its spread over the costal sites and regions. The island consists of three structural terraces and the upper one is presents of crystallized andesite and basalt lava, mixed with sandstones and conglomerates. Three physiographic sectors can be distinguished: eastern, covered by icebergs; central, characterized by its high ice heaps and platforms; and western a plain almost without ice (Sokolovska et al., 2015). The meteorological observation carried out on the BAB showed the following temperature - the mean annual temperature 4°C, the maximum summer temperature 7,5°C and the minimum winter temperature -24°C. The vegetation is restricted to mosses, lichens and algae because of the severe environment and higher plants do not occur because of low temperature and strong winds (Pickard, 1986).


 Ice: 2 - Inott Point Formation; 3 - Friesland tonalite pluton; 4 - Hesperides Point Pluton; 5 - Mount Bowles Formation (volcanic); Mires Bluff Formation; 6 - Moores Peak Member, 7 - Pico Napier Member; 8 - South Bay, Johnsons Dock and Sally Rocks Members; 9 - geological boundaries; 10 - fault; 11 - position of nannofossil finds; 12 - ammonite find; 13 - Spanish Antarctic Base (BAB); 14 - Bulgarian Antarctic Base (BAB); 15 - geological section



Fig. 1. Geological map of the Hurd Peninsula and sedimentary sequence section of the South Bay Member (Mires Bluff Formation) near to Bulgarian Antarctic Base (after Pimpirev et al., 2015).

Most of Livingston Island area is covered with glaciers and rock outcrop are exposed only along the shorelines just in restricted areas. The Hurd Peninsula has a rugged topography with low-rise hills, wide and gentle slopes and wide plains. Soil samples from the Livingstone Island were collected in the framework of 200 m around BAB area. The first sample (Sample 1-2015) was collected northern from the BAB, from the surface of original talus, with 40 m altitude and 210 m distance from the sea. The soil sample was clear of snow and ice. The place is free of plants, but 150 m around some lichens and mosses can be observed. The second sample (sample 2-2015) was taken southern of BAB from the surface of the area located 270 m from the sea and with 41 m altitude. The soil sample was dug under the moss's roots and therefore free of plants. Thin grass vegetation, lichens and mosses can be observed near to the place of sampling. The situation of sampling areas and detailed information concerning the exact places are given in Figure 2 and Table 1. The rock bottom of both soil samples are represented by sedimentary and volcanic rocks and especially includes sandstones, siltstone, rarely mudstones and volcanic dykes, which commonly crossing them.

Table 1.

Geographical location, sampling date, distance from the sea and type of samples collected during the Antarctic Expedition

			Ŭ		1	/
Samples	Date of sampling	Place of sampling	Latitude; longitude	Distance from the sea, (m)	Altitude, (m)	Type of ample
1-2015	15	AB n Island)	62°38. 401′S 60°21.799′W	210	40	Soil (Sedi- ment)
2-2015	13. 01.20	Around B. (Livingsto	62°38.512′S 60°21.959′W	270	41	Soil







Fig. 2. The generat view of the Bulgarian Antarctic Base and the places of sampling. a) general view of the BAB and the places of sampling; b) the place of sample 1; c) the place of sample.

Analytical methods

The complex study of soil samples include characterization of organic matter, determination of main oxides, mineral composition and concentrations of 39 elements including rare earth elements (REE), heavy metals and other toxic trace elements were conducted in different laboratories.

The quality and composition of soil organic matter were determined according to the modified method of Turin (120 °C, 45 min, with catalyst Ag₂SO₄) and method of Kononova and Belchikova (Kononova, 1966; Filcheva and Tsadilas, 2002). Total humic and fulvic acids ($C_{extractable}$) were determined after extraction with mixed solution of 0.1 M Na₄ P₂ O₇ and 0.1 M NaOH. 'Free' and R₂O₃ bonded humic and fulvic acids (C_{NaOH}) – after extraction with 0.1 M NaOH and the most dynamic, low molecular fraction of organic matter, so called 'aggressive' fulvic acids fraction was extracted with 0.05 M H₂ SO₄, in ratio soil solution = 1:20 for the three extractions. Humic and fulvic

acids in both extracts, C_{extractable} and C_{NaOH}, were separated by acidifying the solution with sulfuric acid (0.5 M). Optical characteristics (E4/E6) show the degree of condensation and aromatization of humic acids. Optical characteristics of humic acids were measured on spectrometer SPECOL (absorption at λ 465 nm and 665 nm).

The mineral composition of soils was observed and determined by using optical microscopy Leica EZ4D and X-ray diffraction (XRD) in the Sofia University laboratories. Wet chemical analysis was applied for quantity specification of major oxide. The laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) analyses were conducted at the Geological Institute of the Bulgarian Academy of Sciences for establishing of concentrations of 39 minor and trace elements of studied soil samples.

Results and Discussions

Content and composition of the organic matter

The first data on the soil organic carbon content and composition of the soil samples collected by the Bulgarian scientific expedition (1994/95 and 1995/96) were published by Sokolovska et al. (1996). Different investigations on the same soil samples were also published by Sokolovska et al. (2015). Studied soils were subdivided in three groups according the experimental data concerning the content and composition of soil organic matter. The authors marked their opinion on the initial stage of processes of humus formation and soil formation, which develop in very unfavourable conditions (Sokolovska, 1996).

In the framework of the present investigation the following parameters of soil organic matter was determined – concentration of total organic carbon, humic and fulvic acids, determination of different humic acid fractions (free of R_2O_3 and Ca-bearing complexes), unextracted organic carbon, extracted with 0,1N H₂SO₄ and 0,1N NaOH organic carbon and optical characteristics (E₄/E₆).

The data concerning the concentration and other main characteristic of organic matter of studied soils are given in Table 2. According to the classification of Grishina and Orlov (Orlov, 1985) and Artinova (2014) the total organic carbon (TOC) content in sample 1 is very low (0.98 %). The data presented by Lee et al. (2004) show the average organic carbon content in 30 soil samples from Barton Peninsula (grouped in four groups and basied on bedrock type) - 0.76% with variation between 0.06 and 2.97%. Consequently, the degree of humification of sample 1 is low (under 10%). The humus is of humic type Ch/Cf = 2,60%, with predominance of humic acids over the fulvicacids (Orlov, 1985). These data are different from the data obtained by Sokolowska et al. (1996, 2015), for all Antarctic soil samples analysed before. The sample 1 is collected on the rock talus where the vegetation is presented mainly by lichen and mosses. In the vicinity of the sampling was observed separate grass tufts also. The data indicates an initial process of soil formation. Ca-complexed humic acids have an extremely low concentration (7.69%) compared to the total amount of humic acids. The humic acids are "free" or bound with R2O3, which are more mobile and could be leached. The unextractable organic carbon content is

high (81.63%). The high unextractable organic carbon content is probably due to the strong bonds between the mineral and organic part of the soils. The optical characteristics which present the type if humic acids and their structure, show that humic acids are condensed and the ratio E_4/E_6 show average values according to classification of Grishina and Orlov (Orlov, 1985).

Table 2.

Content and composition of soil organic matter.

Ne %		Organic carbon, (%)			f	Organic ca	rbon, (%)	on, (%), organic (%)	/ith0.1N Drganic nn	Optical characteristics (E4/E6)		ł with H ,(%)	
Sample	TOC,	Extra Na ₄ P ₂ 0	cted with 0 D7+0.1M N	.1M aOH	C _h /C	Humic acid fractions		ic carb acted () Cres.	ic carb acted () Cres. acted w acted w Co4(%)C carbc		"HA	tractec M NaO	
0,		total	HA	FA		free and R ₂ O ₃ complexed	Ca- complexed	Organi Unextr carbor	Extra H ₂ S	To	"free	0.1 1	
1	0.98	<u>0.18 ª</u> 18.37 ^b	<u>0.13</u> 13.26	<u>0.05</u> 5.11	2.6	<u>0.12</u> 92.31⁰	<u>0.01</u> 7.69	<u>0.80</u> 81.63	<u>0.04</u> 4.08	5.08	4.39	<u>0.16</u> 16.33	
2	0.52	<u>0.08</u> 15.38	0.00	<u>0.08</u> 15.38	-	0.00	0.00	<u>0.44</u> 84.62	<u>0.02</u> 3.85	-	-	<u>0.07</u> 13.46	

a - % of the soil sample mass; b - % of the total carbon mass; c - % of the total humic acids; HA - humic acids, FA – fulvic acids. Optical characteristics - E_4/E_6 .

The organic carbon content in sample 2 is extremely low (0,52 %) and the humus concentration is also low in comparison with data for sample 1. The results presented in Table 2 show that the humic acids practically absent in sample 2. Fulvic acids only are extracted, but in very low quantities. The quantity of the extracted organic substances in mixed solution of pyrophosphate, NaOH and NaOH extract are equal which confirm the data that in the soil sample 2, there is no humic acids and especially those bound with Ca. In conclusion it can be stated that in the studied soils from Livingston Island the processes of the humus- and soil formation are very primitive and just in initial stage. The low degree of poor organic materials humification of these Antarctic soils (especially in sample 2) is due to the very unfavourable climatic conditions on that place. In sample 2, the newly formed humus acids are not completely transformed into more mature products and just initial process of soil formation has been observed. The processes of polymerization and polycondensation, which form macromolecules of the new humus are not significant of both samples. Birds and penguin excrements play a significant role on the humus formation processes and probably influenced the humification process which obviously took place in greater extent in the soil from sample 1.

Morphology of the soils

The studied soil samples were subject to macro- and micromorphological observations under the optical microscopy and described according the methodology of Fitzpatrik (1984). Based on their previous investigations of Antarctic soils llieva and Groseva (1996) and Sokolovska et al. (2015) determined four group of Antarctic soils: 1) soils formed on rocks without vegetation; 2) soils formed under mosses (*Drepanoducladus unsinatus*); 3) soils under mixed moss-grass vegetation (*Deshampsia Antarctica – Politrichum sp.*) and 4) soils under Antarctic grass (*Deshampsia Antarc-*

tica). The macro- and micromorphological investigations of sample 2 (Fig. 3, c, d) reveal that it compose of unconsolidated mineral masses and grains and only small amount of plant roots which are dispersed among the rock fragments and penetrated to 3-4 cm in depth. The mineral

grains include the particles of underlying sedimentary and volcanic rocks and petrographically represent mainly by quartz, plagioclase, kaolinite and feldspars. The size of mineral grains and crystals vary from less than 0.1 mm to 1-2 cm and they are with angular or rounded shapes. Very small content of plant remains, represented by moss vegetation roots and mixed with mineral matter were also observed. Some very initial processes of decaying and transformation of the plant tissues, coincident with excreting vegetation biolites (the metter which occur in the plants and remain into the soil after their death) might be going pass. Considering the bright-brown to brown colour of vegetation tissue, it could be concluded that they were very slightly to slightly transformed and the processes of decay were uncompleted. Taking into consideration the above mentioned classification the studied soil sample 2 belongs to the second group "soils formed under mosses". Macroscopic observations of sample 1 (Fig. 3, a, b), which was located on the surface of the rock talus under the moss and lichen vegetations and comparatively near to the sea shore, revile that the soil represents a close mixture of mineral grains, particles and fine rounded aggregates soldered with fine vegetation roots and other organic compounds (excrements of penguin and birds). The rock fragments are represented by fine grained quartz and plagioclase particles with very small sizes (from 100-500 μ m to 1-2 mm) and rounded shapes. The organic matter includes small plant roofs and organic excrements. The soil masses of sample 1 are more compacted than sample 2. This symbiosis between rock fragments, vegetation remains, and organism's excrements formed a peculiar week structure. The micro-morphological observation in 3-4 cm depth shows the following, although not very clear succession. On the soil surface fresh and very weakly decayed mosses and lichen with light-brown colour can be observed. The layer settles below consists of weakly to medium decayed fine roots. The lowest layer in the soil section is dark in colour and composes of greater amount of roots remains. Similar morphological and textural sequence, determined and reported by Sokolovska et al. (2015) for other Antarctic soil, resembles the morphology of a normally developed soil (llieva, 2011), but in the case of the Antarctic soils the separate layers are very much shortened.



Fig. 3. Optical microscopy photos of soil samples. a) and b) sample 1; c) and d) sample 2.

Two soil layers, the first one consists of weakly to medium decayed plant tissues and the second one consists of black fine mixed biogenic remains and excrements can be easily distinguished in the studied samples. Taking into consideration the macro- and micromorphological investigations it can be concluded that there are evidences for more intensive biogenic processes which take place in soil sample 1 in comparison with sample 2. The data for total organic carbon and other characteristics of organic matter also confirm these circumstances (Table 2). According to the above mentioned classification the soils from sample 1 belongs to the third group "soils formed under mixed Antarctic vegetation".

Mineralogical composition of soil samples

The chemical composition of soil (the main oxides) can be used to suggest the mineralogy in the soils, such as primary minerals or secondary weathering minerals. One approach to estimate the degree of chemical weathering is to use the Index of Compositional Variability (ICV) [ICV = $(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2)/Al_2O_3]$ (Cox et al., 1995). Nonclay minerals have a higher ratio of the major cations to Al₂O₃ than clay minerals so the nonclay minerals have a higher ICV index. For example, the ICV index decreases in the order of pyroxene and amphibole ((10-100)), biotite ((8)), K-feldspar ((0,8-1)), plagioclase ((0,6)), muscovite and illite ((-0,3)), montmorilonite ((-0,13-0,3)), and kaolinite ((-0,03-0,05)) (Cox et al., 1995). Therefore, immature soils with a high percentage of nonclay silicate minerals will contain ICV values of greater than one. In contrast, more mature soils with mostly clay minerals

formed under intensive weathering must to have lower ICV index values of less than one (Cox et al., 1995).

The ICV index values of studied soil samples from Livingston Island are shown in Table 3. The data are 1,8 for sample 1 and 1,6 for sample 2 and this indicating that Livingston Island soils are compositionally immature and dominated by nonclay silicate minerals. It can be concluded that they are formed under the physical disintegration of bedrocks and that components of chemical weathering product such as clay minerals are very minor, suggesting that the chemical weathering has not occurred significantly. Hence, most of the inorganic matter of the soils may have been produced by physical weathering and freeze and thaw processes especially. The similar data for Barton Peninsula soils in Antarctica have been reported by Lee et al. (2004).

The XRD analysis was applied in order to determine mineral matter in soil samples. The XRD spectra are presented in on Figure 4. The modes of mineral occurrence within the soils have been observed by optical microscopy. The minerals identified in the samples include quartz, plagioclase (albite), K-feldspar, kaolinite and magnetite. Quartz and plagioclase are very common in both samples, while feldspar and kaolinite are present in low amount. Quartz, plagioclase and feldspar usually occur as rounded or angular grains which size varies from microns to 1-2 mm. Irregular to ellipsoidal aggregates and masses of kaolinite closely mixed with other minerals and plant organic matter are also found in soils. Small magnetite grains dispersed among the soil matter was detected.

There is a close connection between the mineral composition of soils and the mineral composition of sediments (sandstones and siltstone), which compose the basement of the soils (Pimpirev et al., 2015). It can be concluded that the inorganic matter of studied soils may have been produced mainly by physical weathering of the rock formations of Livingston Island.

Table 3.

Maior e	element	compositions	of A	ntarctic soil	samples from	1 Livinastone	Island	(weiaht %	6).
1110101 0		00111000100110		1100100100011	00111010011011	Entingotorio	10iaiia	(in origine)	•,•

Samples	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K20	P ₂ O ₅	H ₂ O	Lost*	ICV**
1	52.20	1.58	16.39	3.66	5.84	0.12	4.42	7.42	4.68	1.11	0.62	0.17	1.85	1.8
2	54.17	1.52	16.07	4.32	4.52	0.13	3.89	5.38	4.15	2.04	0.57	0.43	2.70	1.6
* Waight las	t during	haating	** 101/	Inday of	Compos	itional V	oriobility	$\Pi \cap V = I$					\cap . Mp(

* Weight lost during heating; ** ICV – Index of Compositional Variability [ICV = (Fe₂O₃ + K₂O + Na₂O + CaO + MgO + MnO + TiO₂)/ Al₂O₃] (Cox et al., 1995)



Fig. 4. XRD specters of soil samples. a) sample 1; b) sample 2.

Major, minor and trace elements in soils

The data for major oxides content are presented in Table 3. SiO₂ totally dominated, following by Al₂O₃ and other oxides (Fe₂O₃, FeO, K₂O, Na₂O, CaO, MgO, MnO, TiO₂ and P₂O₅) which are in smaller amount. These results confirm the assumption that the main part of the soils are form from the weathering sediments of the bedrocks composed mainly of sandstones and siltstones.

The concentrations of minor and trace elements including rare earth elements determined by using LA-ICP-MS are given in Table 4. In order to estimate and analyze the data for elements we use the Clarke value for sedimentary rocks, which are reported by Ketris and Yudovich (2009) and Renton et al. (1990) and the mean values of the elements given by Melandrino et al. (2009) for unpolluted soils and sediments.

The comparison between the average content of elements in the sedimentary rocks and the content in studied soil samples and taking into consideration the calculated enrichment/depletion factor (EDF) for each element of both samples, it appears that the most elements in soils are generally around or below the Clark values for the sediments (EDF \leq 1), with the exception of Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, Sr, Cd and partly of As and Pb which exceed two, three or more times the average concentration for sedimentary rocks and which have EDF > 1. Regarding the REE only Eu and Er are concentrated two times and more than the Clarke values (Table 4).

Comparatively high content of some elements, including heavy metals, which are environmentally sensitive has been fixed in soils. The most abundant are Cd (EDF = 5,9 for sample 1 and 4,6 for sample 2), Zn (EDF = 4,6 for sample 2) and Pb (EDF = 3,6 for sample 2). Co (EDF = 2 for sample 1 and 1,7 for sample 2), Cu (EDF = 1,6 for both samples) and Sr (EDF = 1,5 for sample 1 and 1,1 for sample 2) also display concentration higher than Clarke values. The REE content is around Clarke values (EDF is a little bit below or above 1), except Eu, Er, Gd, Dy and Yb which EDF vary from 2,4 to 1,6. It makes impression that radioactive elements U and Th are rather below than Clarke values (Table 4).

In comparison with data for the unpolluted Antarctic soils and sediments (from Terra Nova Bay) published before by Malamdrino et al. (2009) and concerning heavy metals it can be conclude that the concentrations of Ni, Cu, Zn, Cd and partially of As, Pb and Cr (for the sample 2) in studied soils are increased. The highest content in studied soils has been determined for Cd (10 times higher), Zn (3 times higher), Pb (more than 2 times higher), Cu (2 times higher) and Ni (less than 2 times higher). If the same data had been interpret as a comparison with values for unpolluted sediments, published by the same authors, it makes clear that only Cd exceeded the maximum permissible value for sedimentary rocks. It must to note that such parallel is rather relative because the considerable geological and chemical differences between rock formations of that Antarctic areas.

Almost identical determination of different elements in sample 1 and sample 2 was established. Only Zn and Pb are present in higher concentrations in sample 2 (Zn is more than

4 times and Pb is more than 3 times higher) in comparison with sample 1.

Table 4.

Minor, trace and rare earth element concentrations of Antarctic soil samples from Livingstone Island (ppm). Clarke value, enrichment/depletion factor (EDF), mean values in unpolluted soils and sediments are also given. LA-ICP-MS.

Elements	Clarke value of sedimentary rocks*	Sample 1	EDF1	Sample 2	EDF ²	Mean values in unpolluted soils**	Mean values in un- polluted sediments**
S	-	<1461	-	<507	-	-	-
Sc	9.6	35.3	3.7	31.4	3.3	-	-
V	91	270	3.0	224	2.5	-	-
Cr	58	42.9	0.7	59.5	1.0	54	62
Со	14	27.9	2.0	24.4	1.7	-	-
Ni	37	33.6	0.9	32.5	0.9	19	66
Cu	31	50.0	1.6	50.8	1.6	25	45
Zn	43	86.8	2.0	199.7	4.6	-	-
Ga	12	21.6	1.8	25.3	2.1	-	-
As	7.6	<5.2	<0.7	11.5	1.5	7.2	-
Rb	94	31.6	0.3	70.3	0.7	-	-
Sr	270	412	1.5	304	1.1	-	-
Y	29	33.8	1.2	35.0	1.2	-	-
Zr	170	184	1.1	176	1.0	60	118
Nb	7.6	7.5	1.0	8.7	1.1	-	-
Cd	0.8	4.7	5.9	3.7	4.6	0.4	0.4
Sb	1.2	<1.1	<0.9	<0.4	< 0.3	-	-
Cs	7.7	1.3	0.2	3.0	0.4	-	-
Ba	410	197	0.5	350	0.8	-	-
La	32	16.6	0.5	22.3	0.7	-	-
Ce	52	39.5	0.7	49.1	0.9	-	-
Pr	6.8	5.3	0.8	6.1	0.9	-	-
Nd	24	24.2	1.0	26.8	1.1	-	-
Sm	5.5	6.0	1.1	6.5	1.2	-	-
Eu	0.9	1.9	2.1	1.8	2.0	-	-
Gd	4.0	7.0	1.8	6.9	1.7	-	-
Tb	0.7	1.1	1.5	0.9	1.3	-	-
Dy	3.6	6.2	1.7	6.2	1.7	-	-
Но	0.9	1.1	1.2	1.2	1.3	-	-
Er	1.7	3.6	2.1	4.1	2.4	-	-
Tm	0.8	0.5	0.6	0.5	0.6	-	-
Yb	2.0	3.5	1.7	3.2	1.6	-	-
Lu	0.4	0.6	1.5	0.5	1.2	-	-
Hf	3.9	4.2	1.1	4.4	1.1	-	-
Та	1.0	0.4	0.4	0.6	0.6	-	-
W	2.0	<0.8	<0.4	1.3	0.6	-	-
Pb	12	8.3	0.7	44.0	3.6	19	34
Th	7.7	2.4	0.3	4.8	0.6	-	-
U	3.4	0.6	0.2	2.2	0.6	-	-

* Clarke for sedimentary rocks after Ketris and Yudovich (2009) and Renov et al. (1990);

**Reported by Malandrino et al. (2009);

¹Soil/Clarke = EDF for sample 1;

²Soil/Clarke = EDF for sample 2;

In general, element concentrations in studied soil samples are influenced by element abundance of soil-forming sedimentary and partially volcanic rocks, which form the basement of soil cover at Livingston Island. The other factors like marine influence and the features of the corresponding catchment areas are also affect its chemical composition. The effect of vegetation for the chemical composition of soils is unclear and should be evaluated in detail in order to determine its influences mainly in Hurd Peninsula area.

Conclusion

Two soil samples from Livingston Island, South Antarctica have been studied morphologically, mineralogically and geochemically in order to understand soil formation processes and to determine concentrations of elements, some of them with great environmental importance.

The low content of TOC in both samples has been established. It is due to very scarce organic matter in the area of soil sampling. The processes of humus- and soil formation are very primitive and are in initial stage. The newly formed humus acids are not completely transformed into more mature products and just initial process of soil formation has been observed, especially in sample 1, where TOC is more abundant. The processes of polymerization and polycondensation, which form humus macromolecules are not significant for both samples. The sources of soil organic matter are scarce vegetation (mainly lichens, mosses and small amount of grass) remains and bird and penguin excrements, which obviously play an important role on the humus formation processes. The low degree of humification is also due to the presence of very unfavourable climatic conditions.

Morphological study shows that the soils are very slightly to slightly transformed and the processes of decay are uncompleted, but there is indications that more intensive biogenic processes take place in sample 1 in comparison with sample 2.

The minerals identified in the soils are guartz, plagioclase, Kfeldspar, kaolinite and magnetite, but guartz and plagioclase are totally dominated. There is a close connection between the mineral composition of soils and sedimentary rocks of the Miers Bluff Formation, which composed mainly of sandstones and siltstone, and forms the rock basement of the sampled area. The inorganic matter of soils may have been produced mainly by physical weathering of these sediments. The most elements in soils are generally around or below the Clark values for the sediments, with the exception of Sc, V, Co, Cu, Zn, Ga, Sr, Cd and partly of As and Pb which exceed two, three or more times the average concentration for sedimentary rocks. From the REE only Eu and Er are concentrated two times and more than the Clarke values. The total concentrations of heavy metals and other toxic elements, although some increased amount of Cd, Zn, Pb, Sr and As do not show any definite evidence of local or global anthropogenic contamination.

In general, the sediments of rock basement and the soil sampled around them showed a similar mineralogical and chemical composition, as evidence that rock- and soil-weathering processes occur only during the worm summer period, when the sea-shore zone of the island are ice-free. In conclusion it can be summarized that the Antarctic soils need to be further surveyed, analyzed and examined.

Acknowledgments:

Great acknowledgments of the Sofia University "St. Kl. Ohridski" Science Fund for the financial support to realize the present study.

References

- Aislabie, J., R. Fraser, S. Duncan, R. Farrell. Effects of oil spills on microbial heterotrophs in Antarctic soils. – *Polar Biology*, 24, 2001. - 308–313.
- Artinova N. Humus state of soils in Bulgaria. In: Soil organic matter and soil fertility of Bulgarian soils, Bulgarian Humic Substances Society, 2014. - 29-74.
- Balks, M., R. Paetzold, J. Kimble, J. Aislabie, I. Campbell. Effects of hydrocarbon spills on the temperature and moisture regime of Cryosols in the Ross Sea region, Antarctica. - Antarct. Sci. 14, 2002. - 319–326.
- Bonev, K., D. Dimov, N. Georgiev. Explanatory notes to the geological map of Hurd Peninsula, Livingston Island. - In: *Bulgarian Antarctic Research, A Syntesis* (Ed. Pimpirev, C. and N. Chipev), Sofia, "St. Kl. Ohridski" University Press, 2015. – 308-319.
- Campbell, I., G. Claridge, D. Campbell, M. Balks. The soil environment. In: *Priscu, J.(Ed.), Ecosystem Dynamics in a Polar Desert: The McMurdo Dry Valleys, Antarctica. Antarct. Res. Ser., 72.* Amer. Geophys. Union, Washington, 1998. - 297–322.
- Claridge, G., I. Campbell, H. Powell, Z. Amin, M. Balks. Heavy metal contamination in some soils of the McMurdo Sound region, Antarctica. – *Antarctic Science*, 7, 1995. - 9–14.
- Claridge, G., I. Campbell, M. Balks. Movement of salts in Antarctic soils: experiments using lithium chloride. – *Permafr. Periglac. Process. 10*, 1999. - 223–233.
- Convey P. The influence of environmental characteristics on life history attributes of Antarctic terrestrial biota. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, *71*, 1996. 191–225.
- Cox R., D. Lowe, R. Cullers. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. -*Geochim.Cosmochim. Acta* 59, 1995. - 2919–2940.
- Filcheva, E., C. Tsadilas. Influence of Cliniptilolite and Compost on Soil Properties. - Communications of Soil Science and Plant Analysis, 33, 3-4, 2002. - 595-607.
- FitzPatrick E.A. *Micromorphology of Soils*. London-New York, Chapman and Hall, 1984. 433 p.
- Ilieva R., M. Groseva. Morphrlogy of Soils from the Livingston Island, South Shetland Islands (the Antarctic). In: *Bulgarian Antarctic Research Life Sciences*, 1996. - 98–105.
- llieva, R. Micro-morphology of the organic substance. *Soil Science, Agrochemistry and Ecology, 1–4,* 2011. 31–135 (in Bulgarian).
- Ketris, M., Y. Yudovich. Estimations of Clarks for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element content in black shales and coals. – *Int. J. Coal Geology.* 78, 2009. – 135-148.
- Kononova, M. M. Soil Organic Matter. London, Pergammon Press, 1966. – 544 p.
- Lee, Y., H. Lim, H. Yoon. Geochemistry of soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica: Implications for pedogenesis in cold polar regions. – *Geochimica et Cosmochimica Acta, 68,* 21, 2004. – 4319-4333.
- Malandrino, M., O. Abollino, S. Buoso, C. Casalino, M. Gasparon, A. Giacomino, C. Gioia, E. Mentasti. Geochemical characterization of Antarctic soils and lacustrine sediments from Terra Nova Bay. – Microchemical Journal, 92, 2009. - 21–31.

- Orlov, D. Chemistry of soils. Moscow University Press, Moscow, 1985. - 376 p.
- Pickard, J. Antarctic Oasis, Terrestrial Environment and History of Vestfold Hills. Academic Press. 1986. – 387 p.
- Pimpirev, C., K. Stoykova, M. Ivanov, D. Dimov. The sedimentary sequences of Hurd Peninsula, Livingston Island, South Shetland Islands: Part of the Late Jurassic-Cretaceous depositional history of the Antarctic Peninsula.
 In: Futerrer, D., D. Damaske, G. Kleinschmidt, F. Tessensohn (Eds.). Antarctica: contribution to global earth sciences. Berlin etc.: Springer, 2006. 247-252.
- Pimpirev, C., P. Pavlishina, Y. Stefanov. Evidence for deltaic palaeoenvironments in the lowermost part of the Miers Bluff Formation, Livingston Island, Antarctica. In: *Proceedings National Conference Geosciences*, 2012. -97–98.
- Pimpirev, C., M. Ivanov, K. Stoykova. Stratigraphy of the Miers Bluff Formation, Hurd Peninsula, Livingston Island, Antarctica. In: *Bulgarian Antarctic Research, A Syntesis* (Ed. Pimpirev, C. and N. Chipev), Sofia, "St. Kl. Ohridski" University Press, 2015. – 33-39.
- Prus, W., M. Fabianska, R. Labno. Geochemical markers of soil anthropogenic contaminants in polar scientific stations nearby (Antarctica, King George Island). – *Science of the Total Environment*, 518-519, 2015. – 266-279.
- Renov, A. A. Yaroshevsky, A. Migdisov. *Chemical Composition* of the Earth's Crust and Geochemical Balance of Main Elements. Nauka, Moscow, 1990. – 192 p.
- Sheppard, D., I. Campbell, G. Claridge. Contamination of soils about Vanda Station, Antarctica. Institute of Geological and

Nuclear Sciences, Lower Hutt, New Zealand. Report 40/20. 1994.

- Sheppard, D., G. Claridge, I. Campbell. Metal contamination of soils at Scott Base. – *Applied Geochemistry*, 15, 2000. -513–530.
- Smellie, J., M. Liesa, J. Munos, F. Pallas, R. Willan. Lithostratigraphy of volcanic and sedimentary sequences in central Livingston Island, South Shetland Islands. – *Antarctic Science*, 7, 1995. - 99–113.
- Sokolovska, M., L. Petrova, N. Chipev. Particulars of Humus Formation in Antarctic Soils: Factors, Mechanisms, Properties. – Bulgarian Antarctic Research: Life Sciences, 1, 1996. - 7–12.
- Sokolovska, M., N. Chipev, R. Ilieva, M. Nustorova, L. Petrova, Z. Vergilov, R. Hristova, J. Bech. Soils in Livingston Island: Composition, properties and ecological aspects. - In: *Bulgarian Antarctic Research, A Syntesis* (Ed. Pimpirev, C. and N. Chipev), Sofia, "St. Kl. Ohridski" University Press, 2015. – 308-319.
- Stoykova, K., C. Pimpirev, D. Dimov. Calcareous nannofossils from Miers Bluff Formation (Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica): first evidence for a Late Cretaceous age. - *Journal of Nannoplankton Research*, 24, 2, 2002. - 166–167.
- Ugolini, F., J. Bockheim. Antarctic soils and soil formation in a changing environment: A review. *Geoderma, 144*, 2008. 1-8.

Статията е рецензирана от проф. дгн Калинка Маркова и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и проучване на полезни изкопаеми".

К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА ОПРОБОВАНИЯ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

Л.Тувхуу¹, Л. Лхагвасурэн²

¹ Монгольский Государственный Университет науки и технологии, Горно-геологический институт, Уланбатор,

tuvkhuu100@yahoo.com ² Дун-Эрдэнэ" КОО

РЕЗЮМЕ. При разведке россыпных месторождений полезных ископаемых применяется в основном ударное /ударно-канатное/ бурение. В зависимости от некоторых факторов, связанных с завышением (так называемое «растягивание» пласта по вертикали) и сужением мощности пласта и неправильным оконтуриванием площади, искажением определяемого содержания золота, несоблюдением технологии разведки и опробования данные разведки и опробования россыпных месторождений золота ударным бурением не сходятся с результатами последующей их эксплуатации. В связи с чем встает вопрос о научно обоснованном объяснении проблемы. В данной статьи мы излагаем результаты лабораторного исследования явления «растягивания» золотоносного пласта при разведке ударным бурением.

Ключевые слова: полезное ископаемое, золото, запасы, методы, минералы, перемещение.

КЪМ ВЪПРОСА ЗА КАЧЕСТВОТО НА ОПРОБВАНЕ НА ПРОУЧВАТЕЛНОТО СОНДИРАНЕ НА РАЗСИПНИ НАХОДИЩА НА ЗЛАТО

Л.Тувхуу¹, Л. Лхагвасурэн²

¹ Монголски Държавен Университет за наука и технология, Минно-геоложки институт, Уланбатор,

tuvkhuu100@yahoo.com

² Дун-Эрдэнэ" КОО

РЕЗЮМЕ. При проучване на разсипни находища на полезни изкопаеми основно се използва ударно сондиране. Данните от проучването с ударно сондиране и опробването на разсипни находища на злато се различават от резултатите, получени в процеса на експлоатацията им под влияние на следните фактори: увеличаване (така нареченотовертикално "разстягане" на пласта) и свиване на дебелината на пласта; неправилно оконтурване на площа му; неточност при определяне на съдържанието на злато; неспазване на технологията на проучване и опробване. В тази връзка се поставя въпроса за научно обосновано обяснение на този проблем. В настоящата работа се излагат резултати от лабораторното изследване на явлението "разстягане" на златоносния пласт в процеса на ударното сондиране.

Ключеви думи: полезно изкопаемо, злато, запаси, методи, минерали, преместване.

Введение

Разведка россыпных месторождений полезных ископаемых проводится в основном, как уже известно, ударным бурением по определённой сетке. При этом запасы полезных ископаемых определяются по границе, объему, промышленному содержанию площади и потверждаются результаты разведки проходкой шурфов или медленноврашательном бурением скважины большого диаметра.

Достоверность подчетов запасов россыпных месторождений во многом зависит от качества разведки, в том числе от ударного бурения, опробования, технологии промывки и последовательности работ.

Ударно-канатное бурение (УКБ) обладает относительной простотой организации процесса и остается до сих пор одним из надежных способов разведки россыпных полезных ископаемых, содержащихся в рыхлых отложениях. К тому же надо отметить что, наблюдается тенденция дальнейшего применения этого метода (Цэрэн. Даваадорж, 1986; Цэрэнжав, 2012). Преимущество ударного способа состоит в том, что он по сравнению с другими способами дает возможность бурить рыхлые отложения, закрывая обсадной трубой и получить достоточного количества пробы при бурении обводненные, болотистые, глинистые набухаюшие и мерзлые грунты. Отличительная особеность ударного бурения заключается в его применении как основной способ поисковоразведочной работы.

Также для успешной разведки россыпных месторождений важны человеческий фактор, работа буровой бригады т.е. результаты работы во многом зависят от согласованности работ бурового мастера, помбура, промывщика, полоскателя, техника-геолога и их опыта, умений и навыков.

У ударного способа разведки и опробования имеется немало недостатков, например, к их числу можно отнести завышение. т.е «растягивание» и сужение мощности пласта и неправильное оконтуривание площади, искажение определяемого содержания золота, несоблюдение технологии разведки И опробования. Особенно завышение, т.е «растягивание» и сужение мощности пласта и неправильное оконтуривание площади, искажение определяемого содержания золота приводят к серьезным ошибкам оценки данных запасов и экономических и технологических подсчетов (Кучерявый, Кожушко, 1972).

В связи с чем в процессе разведки россыпных ударным месторождений бурением возникает необходимость тщательного контроля бурильщиком изменений последовательности бурения (долболениежелонирование-долболение желонирование, также последовательность установки обсадной трубы), технологии (углубление скважины, количество воды для скважины, число желонирования и.т.д.) и тщательного контроля геологом изменений опробования и горных пород и отложений (граница песка и грунта) в различных **VCЛОВИЯХ**

Перемещение частиц золота на забое при ударном бурении

Для исследования в лабораторных условиях перемещения частиц золота при разведке россыпных месторождений ударным бурением эксперимент проводили с помощью прибора ПОК (прибор определения динамической крепости горных пород) для иммитации ударного бурения.

Методика эксперимента

- Подготовка золотоносных горных пород к эксперименту

- 50% галечники, 50% песчанные отложения
- 30% галечники, 70% песчанные отложения
 - 2 варианта пробы золотоносных горных пород объемом 151,4 сm³

- Поместить частицы золота на глубине 19,0-24,81 mm в золотоносных горных породах.

- Взвесить частицы золота до помешения в золотоносных горных породах на весах точностью 0,01 mm, данные записать в журнал эксперимента.

Марка весов - электронные весы марки J3000. Время эксперимента - 1 min, 3 min, 5 min.

Результаты лабораторного исследования

ПОК (прибор для определения крепости горных пород) предназначен для определения динамической крепости горных пород по методу толчения. Показатели крепости определяются сопротивлением горных пород удару и срезу (фиг.1).



Фиг. 1.Схема прибора ПОК для определения динамической крепости горных пород:

1. стакан; 2. направляющая труба; 3. Упор; 4. груз (гиря); 5. ограничитель; 6. Шнур; 7. рукоятка

Этот метод основан на том, что работа, выполняемая во время толчения пропорциональна поверхности, образованной частицами горных пород размером менее 0,5 mm. Если работа, выполняемая во время толчения постоянна, то образованная (по новому) поверхность обратно пропорциональна показателю крепости горных пород (Цэвээнжав, 2012).

Цель нашего исследования заключалась в определении перемещения частиц золота в забое скважины при ударным бурении на россыпных месторождениях в лабораторных условиях с помощью прибора ПОК. Перемещение частиц золота определялось динамическим действием сбрасывания груза весом 2.5 kg. По теоретическому обоснованию перемещение должно происходить по закону инерции Ньютона.

При ударе долото раздробляет горные породы и проникает в них, по размеру режущего конца долота образуется углубление (Беккер и др., 1979). После каждого удара долото поворачивается определенным углом, а при этом раздабливаются не только горные породы, но и происходит раздробление в сторону углубления. Одновременно с раздроблением горных пород, при ударе также перемещаются в определенной мере частицы золота, содержащиеся в песчано-галечных отложениях. Размер перемещения зависит от веса частиц золота, содержащихся в вмешаюших отложениях.

Экспериментом установлено, что частицы золота перемещаются не только вниз, но и вверх. Разное направление перемещения частиц золота, как мы видим, зависит от типа золотоносных отложений, растояния между режущим концом долота и частицами золота, веса и формы частиц золота. Направление перемещения частиц вниз преобладает в зоне площади уплотнения а в близкие к режущему концу долота частицы золота, находяшихся в зоне площади подвижных пород перемещаются вверх (фиг.2).



Фиг. 2. Направления перемещения горных пород при ударе 1-режущий конец долота; 2-поверхность забоя; 3-площадь подвижных горных пород; 4-площадь уплотнения горных пород.

В эксперименте 4 mg, 5 mg, 9 mg частиц золота поместили на глубине 21-27 mm в горных породах, состоящих на 50% галечных и на 50% песчаных отложений и для дробления горных пород использовали груз весом 2364, 5 g. Высота сбрасывания груза 600 mm. За 1 min проведено 30-45 ударов. Наблюдено, что часть частиц золота перемещена вверх, а часть вниз. В результате 15 разовых измерений средний показатель перемещений частиц золота составляет 3,01 mm. А в условиях эксперимента, когдавмешаюшая порода состоит из 30% галечных, 70% песчаных отложений, положили в них частицы золота на глубине 19 mm. При этом за 1 min проведено 60-75 ударов и проведено12 измерений. Средний показатель перемещений составляет 8,54 mm. Здесь наблюдается зависимость перемещения частиц и числа ударов: по мере увеличения числа ударов увеличивается и перемещение частиц золота

Время данного опыта проделили на 3 и 5 минут. За 3-х минутный эксперимент средний показатель перемещений в результате измерений 24 раза составлял 3,74 mm. А за 5-и минутный эксперимент средний показатель перемещений в результате измерений 24 раза составлял 4,71 mm. Здесь видно, что при продлении времени ударов увеличивается растояние перемещений.

С другой стороны, эксперимент показывает, что в том случае, когда в составе золотоносных отложений преобладает песчанные породы увеличивается и перемещение частиц золота. Расчет по данным эксперимента, относящимся на перемещение 1 mg частиц золота потверждает вышеуказанные выводы (фиг.3-5).







Фиг. 4. Перемещение частиц золота весом 1 mg за 3 минут при ударном бурении



Фиг. 5. Перемещение частиц золота весом 1 mg за 5 минут при ударном бурении

За 1 минут эксперимента интенсивность перемещения частиц золота 0.04 mm/удар (фиг.3). За 3 минут эксперимента интенсивность перемещения частиц золота 0,02 mm/удар (фиг.4). За 5 минут эксперимента интенсивность перемещения частиц золота 0,01 mm/удар Здесь наблюдается интересная зависимость перемещения и ударов. Видно что, при ударном бурении при увеличении числа ударов уменьшается перемещение частиц золота, отведенное на единицу ударов.

Теоретическая основа определения перемещения частиц золота в забое под ударным действием бурения

Основные понятия физики объясняют причины ускорения движения тел, а размер и направление ускорения рассматриваются в динамике как части механики. Краеугольным камнем динамики можно считать законы движения Ньютона. Законами Ньютона определяется связь между движением тел и причинами его изменений (Цэрэн, Даваадорж., 1986). Понятно, что все в природе находится в вечном движении.

Хотя возможны различные действия близлежащих горных пород с разными свойствами, частицы золота в пластах, неподверженные бурению с точки зрения механики можно считать телами, находящимися в состоянии покоя.

При падении долота в скважину частицы золота и близколежащие к ним горные породы подвергаются вибрации, вследствие чего в зависимости от массы горные породы могут перемещаться с различной скоростью по направлению вверх. В том условии, когда не происходил удар, взаимодействие частиц золота и горных пород находится в равновесии, поэтому можно сказать, что частицы золота находятся в том случае в состоянии покоя. Другими словами их скорость постоянна, равна нулю.

На каждое тело, находящееся в состоянии покоя действуют два и более сил. В этом случае действия этих сил взаимно равны.

Перемещение тел от удара в зависимости от трения может дальше продолжаться, хотя уже прекратился удар. Но оно продолжится недолго. Это явление объясняется первым законом Ньютоном. С прекращением действия внешней силы тело стремится оставаться в движении. Это свойство известно как инерция. В природе широко распространено движение, постоянно изменяющееся скоростью, направлением. Под действием удара бурового снаряда перемещение элементарных частиц происходит с определенным ускорением.

При бурении ускорение проходки долота в породу за время Δt равно $a_1 = \frac{V_1}{\Delta t}$. А ускорение элементарных частиц, взаимодействующих с ним будет $a_2 = \frac{V_2}{\Delta t}$ тогда

 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{v_1}{v_2}$. Постоянное соотношение ускорений

взаимодействующих двух тел совершенно не зависит от того, как взаимодействуют эти тела. $\frac{a_1}{a_2} = const$. При взаимодействии двух тел они приобретают противоположно направленное ускорение

Из-за удара, другими словами из-за очень кратковременного взаимодействия долота и горных пород, некотороя часть горных пород почти лишается возможностей перемещаться и иметь ускорение (Цэрэн, Даваадорж, 1986).

Если масса бурового снаряда - m₁, масса элементарных частиц в забое - m₂, может быть следующее соотношение.

$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{a_2}{a_1} \tag{1}$$

Направление ускорения обратное, поэтому значение должно быть отрицательное, т.е. со знаком минус (-). Из вышеуказанной формулы следует:

$$m_1 \cdot a_1 = -m_2 \cdot a_2$$

Если умножить массу на ускорение получим силу. Тогда

$$F = m \cdot a \qquad \qquad \vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Нам известно что, зависимость силы, массы и ускорения является вторым законом Ньютона. Так что, эта сила выражает взаимодействие горных пород и долота. Ученые экспериментально установили возможность определения пройденной под действием силы F пути по следующей формулой.

$$l = \frac{a \cdot t^2}{2}$$
[2]

Силы, действующие на два тела равны по размеру и противоположны по направлению. Это положение впервые сформулировано Ньютоным.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Это, то что мы называем теперь третьим законом Ньютона: каждому действию всегда соответствует равное и противоположно направленное противодействие.

В перемещении элементарных частиц горных пород при ударе важную роль играет сила трения. Сила трения считается как выражение электромагнитной силы. Эта сила возникает в результате соприкосновения двух тел поверхностями и их относительных перемещений и к тому же она противодействует их взаймному перемещению. Направление этой силы противоположно скорости тела. По мере увеличения скорости тела увеличивается и сила трения. Трение происходит по третьему закону Ньютона. Взаимодействие поверхностями между двух контактирующих твердых тел на самом деле есть внешнее трение. Вообще во внешнем трении различают три вида: трения покоя, трения качения, трение скольжения (Цэрэн, Даваадорж, 1986).

Так как во время ударов происходит относительно параллельное перемещение контактирующих поверхностей частиц горных пород, скорее всего это можно считать трение скольжения. По закону Кулона сила трения покоя прямо пропорциональна силе нормального давления.

 $F = \mu \cdot P_H \tag{3}$

Где: F - сила трения;

Рн - сила нормального давления;

µ - коэффициент трения.

Движению тел оказывает особое влияние сила трения. В зависимости от силы трения ускоряется движение частиц золота /фиг.6/.

У элементарных частиц горных пород при ударе теряется состояние покоя начинается резкое движение со скоростью Vmax и под действием силы трения, пройдя определенный путь в течение определенного времени движение прекращается. Расчитаем время прекращения движения под действием силы трения и путь элементарных частиц, пройденный ими за это время. На фигуре 7 показаны направление силы трения, действующей на элементарные частицы горных пород с момента замедления скорости движения и направление ускорения. Понятно, что противоположны их направления. В этом случае движение



Фиг. 6. Графика движения элементарных частиц горных пород І-ускоряющее движение, ІІ-замедляющее движение



Фиг. 7. Сила, действующая на элементарные частицы горных пород и её ускорение перемещения

элементарных частиц горных пород происходит только под действием силы трения, поэтому равенство движения можно выражать по второму закону Ньютона:

$$ec{F_{
m Y}}=mec{a}$$
где:
m - масса элементарных

частиц горных пород, kg а- ускорение элементарных частиц горных пород, m/s²

Из этой формулы следует:

$$a = -\frac{F_{\rm Y}}{m}$$

Так как здесь направления силы трения и ускорения противоположны, значение должно быть отрицательное, т.е. со знаком минус (-). С другой стороны

$$a = \frac{V_t - V_0}{t}$$
 поэтому

конечная скорость Vt=0, поскольку нам интересно время с замедления момента скорости, перемещения элементарных частиц до его прекращения. $a = -\frac{V_0}{t}$

Если

ΤO

гда
$$\frac{F_{\mathrm{Y}}}{m} = \frac{V_{\mathrm{0}}}{t}$$
 отсюда $t = \frac{m \cdot V_{\mathrm{0}}}{F_{\mathrm{Y}}}$

На этой формуле можно видеть, что время замедления скорости зависит от силы трения, а также от умножения *m* · *V*₀. Теперь найдем путь *l* элементарных частиц, пройденный ими с момента замедления скорости до прекращения движения. Для вычисления используем следующую формулу (Остроушко, 1952).

$$V^2 - V_0^2 = 2a \cdot l$$

По нашему условию Vt=0, тогда

$$l = -\frac{V_0^2}{2a}$$

по второму закону Ньютона $a = -\frac{F_{Y}}{m}$

гогда
$$l = -\frac{m V_0^2}{2 \cdot F_{\rm v}}$$
 [5]

Стало известно, что путь, пройденный элементарными частицами до прекращения движения зависит от силы трения, также от величины $\frac{m \cdot W_0^2}{2}$. Этот путь имеет прямую зависимость от квадрата скорости.

Так как свободное падение бурового снаряда в скважину представляет собой один из случаев равномерного ускорения, путь его перемещения, скорость, время и закона ускорение можно определить формулой равномерно переменного движения.

Скорость падения бурового снаряда в скважину равномерно ускоренного движения можно определить следующим образом:

$$\vec{V} = \vec{a} \cdot t \tag{6}$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2$$
 учир $t = \sqrt{\frac{2h}{a}}$ [7]

[8]

если заменим формулу 7 формулой 6, получится: $\vec{V} = \sqrt{2 \cdot h \cdot a}$

h - высота сбрасывания снаряда удара, m; где:

а - ускорение падения снарда в скважину, m/s². По расчету исследователей a=5,5-6,5 m/s² (Остроушко, 1952).

Некоторые теоретические расчеты дробления горных пород при ударном бурении

В конце прошлого столетия, чехословацский исследователь Долежалек выдвинул впервые теоретическую схему процесса дробления горных пород при ударно-вращательном бурении. А русский профессор Н.С. Успенский разработал математический анализ этой схемы. Долежалеком и Успенским разработана теоретическая основа закономерности дробления горных пород при ударе (Кренделев, 1976). Под действием силы Ру режущий конец бурового инструмента проходит в горные породы на глубину h (фиг.8).

По мере проходки инструмента увеличиваются и сила сопротивления F $_{cm}$ раздавливанию и сила трения Fтр между горными породами и инструментом. При наступлении нижеуказанного равенства сил прекращается проходка.

[4]

Сила сопротивления горных пород раздавливанию равно умножению площади разрушения S_{см} на временное сопротивление горных пород раздавливанию.

$$F_{CM} = S_{CM} \cdot \delta_{CM}$$
[10]

На фигуре 8 видно что $S_{CM} = a \cdot d$

$$tg \frac{\alpha}{2} = rac{rac{\alpha}{2}}{h} = rac{a}{2h}$$
 тогда $a = 2h \cdot tg \cdot rac{\alpha}{2}$ [11]

где: а- ширина площади дроблямой горной породы, cm

d- длина режущего конца инструмента (длина площади дробления), ст

α- угол заострения режущего конца долота, ⁰

если S_{см}, а из формулы 11 подставим в формулу 10, то получится: $F_{CM} = 2 \cdot h \cdot d \cdot \sigma_{CM} \cdot tg \frac{\alpha}{2}$ [12]

Сила F_{см} является равнодействующей силой двух N сил действующих в нормальном направлении на щеки клинообразного инструмента

На фигуре 8 видно, что

$$Sin\frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{F_{CM}}{2}}{N} = \frac{F_{CM}}{2N}$$
 отсюда $F_{CM} = 2 \cdot N \cdot Sin\frac{\alpha}{2}$ [13]

тогда
$$N = \frac{F_{CM}}{2 \cdot sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{2 \cdot h \cdot d \cdot \sigma_{CM} \cdot t g_{\frac{\alpha}{2}}}{2 \cdot sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{h \cdot d \cdot \sigma_{CM}}{cos \frac{\alpha}{2}}$$
 [14]



Фиг. 8. Нагрузки, действующие на дробление горных пород на забое при ударном бурении

Под действием сил N возникают силы трения между горных пород и инструментом. Каждую из этих сил трения надо определить, умножая нормальную силу N на коэффициент f трения между режущим концом инструмента и горными породами.

 $F_{mp}^{'} = N \cdot f$

Равно действующая сила сил трения: $F_{mp} = 2 \cdot F'_{mp} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot N \cdot f \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$ [15]

С учетом формулы 14 формула 15 выражается следующим образом:

$$F_{mp} = 2 \cdot f \cdot \frac{h \cdot d \cdot \sigma_{CM}}{\cos \frac{\alpha}{2}} \cos \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot h \cdot d \cdot \sigma_{CM} \cdot f$$
[16]

С учетом формул 12 и 16 формула 9 выражается следующим образом:

$$\begin{split} P_{y\partial} &= F_{\rm CM} + F_{\rm mp} = 2 \cdot h \cdot d \cdot \sigma_{\rm CM} \cdot tg \frac{\alpha}{2} + 2 \cdot h \cdot d \cdot \sigma_{\rm CM} \cdot f \\ &= 2 \cdot h \cdot d \cdot \sigma_{\rm CM} \left(tg \frac{\alpha}{2} + f \right) \end{split}$$

Здесь без учета затупления режущего конца инструмента, можно определить глубину проходки режущего конца инструмента в горные породы следующей формулой.

$$h = \frac{P_{y\partial}}{2 \cdot d \cdot \sigma_{CM} \left(t g \frac{\alpha}{2} + f \right)}; \text{ mm}$$
[17]

С учетом затупления инструмента с режущим концом различной формы:

$$h = \frac{P_{y\partial}}{2 \cdot d \cdot \sigma_{\scriptscriptstyle CM} \cdot \varepsilon \cdot \left(tg\frac{\alpha}{2} + f\right) \cdot \eta}; \, \mathsf{mm}$$

Где: ε - коэффициент, с учетом формы режущего конца инструмента

η=1.2-1.3- коэффициент с учетом влияния затупления режущего конца

Можно считать что, при ударе происходит перемещение частиц золота, пропорционально зависимое от величины h.

На наш взгляд был бы не лишним делать вышеуказанный теоретический расчет дробления горных пород при ударном бурении для осадочных пород, с учетом их особенностей.

Работа инструмента за единицу удара на забое скважины должна определяться в зависимости от свободно падающего тела. Тело перемещается под действием определенной силы. Работа определяется умножением силу на перемещение.

$$A = F \cdot S \tag{[18]}$$

С учетом основных понятий силы и перемещения в физике:

$$F = m \cdot a$$
 $S = v \cdot t$ $a = \frac{v}{t} \Rightarrow V = a \cdot t$ $\frac{S}{t} = V$
тогда $S = a \cdot t^2$

в неравномерном движении:
$$S=rac{a\cdot t^2}{2}$$
 $m=rac{p}{g}$ $t=rac{v}{a}$ поэтому

$$A = m \cdot a \cdot \frac{V^2}{a} = m \cdot v^2$$

 $V^2 = 2 \cdot a \cdot S$ В неравномерном движении $A = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

Если подставить данные формулы работы, массы, веса, скорости, ускорения и перемещения в формулу 18, то работа свободно падающего инструмента, выполняемая при ударе выражается следующей формулой:

$$A_1 = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{G}{2 \cdot g} \cdot \left(\sqrt{2 \cdot j \cdot H}\right)^2 = \frac{j}{g} \cdot G \cdot H, \text{kgm}$$
[19]

Где: m- масса бурового инструмента, kg

v- скорость падения бурового инструмента, m/s

G- вес бурового инструмента, kg

j=0,6g- ускорение падения инструмента в скважину со шламом, m/s²

Н- высота падения инструмента, т

g - ускорение свободного падения, m/s² Работа инструмента, выполняемая за 1 минут: $A = A_1 \cdot n = \frac{j}{g} \cdot G \cdot H \cdot n$; kgm

Где: n - число ударов за 1 минут.

Объём пробуренных в скважине горных пород за это время:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot V'; \text{ cm}^3/\text{min}$$

Где: d - диаметр скважины, cm V '- скорость чистого бурения, cm/min

Работа, затрачиваемая на единицу объема пробуренной скважины оказывается приблизительно постоянная величина. А (Кучерявый, Кожушко, 1972 и др.)

Основной недостаток ударно-канатного бурения заключается в том, что при свободном падении бурового снаряда ограничено количество энергии, приходящей на забой за единицу времени. В связи с чем нет возможностей дальнейшей интенсификации бурения. Это положение потверждается и вышеуказанным теоретическим расчетом.

Тогда:
$$A_o = \frac{A}{V} = \frac{4 \cdot j \cdot G \cdot H \cdot n}{\pi \cdot d^2 \cdot v' \cdot g}$$
, kgm/cm³

Отсюда определим скорость возможного чистого бурения:

$$V' = \frac{4 \cdot j \cdot G \cdot H \cdot n}{\pi \cdot d^2 \cdot g \cdot a}$$
[20]

Если заменим численными показателями π=3,14, g=9,8 m/s², то будет

$$V' = 0.13 \cdot \frac{j \cdot G \cdot H \cdot n}{d^2 \cdot a}; \text{ cm/min}$$

Выводы

- При ударном бурении перемещения частиц золота, находящихся в забое скважины не одинаковы, они различны по направлению и скорости.
- В результате эксперимента установлено, что частицы золота, лежащие близко к поверхости забоя перемещаются по направлению вверх или к стене скважины а частицы золота, находящиеся в уплотненной зоне забоя направляются вниз.
- В зависимости от числа и времени ударов и гранулометрического состава золотоносных отложений различна интенсивность перемещений частиц золота, находящихся в пределах забоя.
- Также установлено экспериментом, что частицы золота, направленные к стене скважины при ударном бурении не ловятся поршевой желонкой.
- Перемещение частиц золота, которое происходит при ударном бурении пропорционально зависит от h проходки режущего конца долота.
- 6. Пройденный до прекращения движения путь пере-

мещения частиц зависит от силы трения и величины $\frac{m \cdot V_0^2}{2}$.

Литература

- Беккер, А.Г., В.И. Гарань и др. Ударно-канатное бурение на разведке россыпных месторождений,- Магадан, 1979.
- Цэрэн, Д., Ц. Даваадорж. Физикийн лавлах бичиг. -БНМАУ. АБЯ-ны сурах бичиг, сэтгүүлийн нэгдсэн редакцийн газар. УБ, 1986.
- Остроушко, И.А. *Разрушение горных пород при бурении.* М. Госгеолиздат. 1952.

Цэвээнжав, Ж. Өрөмдлөгийн онол. –УБ, 2012

- Кучерявый, Ф.И., Ю.М. Кожушко. Разрушение горных пород. М, Недра. 1972.
- Кренделев, В.П. Бурение скважин при поисках и разведке россыпных месторождений. -*М*, *Недра*, 1976. - 248с.

Эта статья была рецензирована доц. д-р Св. Бакырджиева и доц. д-р В. Златанова и рекомендуется для публикации Департамента «Геология и разведка полезных ископаемых».

НОВИ ГЕОЛОГОСТРУКТУРНИ ДАННИ ЗА КАРИЕРА "ЛЮЛЯКАТА", ДЕВНЕНСКО

Теменуга Георгиева¹, Венелин Желев¹, Георги Айданлийски¹, Антонио Лаков¹, Стоян Стоянов²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, t.georgieva@mgu.bg, vjjelev@yahoo.com, g.ajdanlijsky@mgu.bg, tony_lakov@abv.bg

²Девня Варовик АД, с. Чернево, stoyan.stoyanov@solvay.com

РЕЗЮМЕ. Кариера "Люляката" е разположена северно от гр. Девня, Варненска област. В нея се добиват органогенни и микритни варовици за целите основно на химическата промишленост и циментовото производство. Те са с долнокредна (бериас-хотривска) възраст и принадлежат на Каспичанската свита, разкриваща се в ядката на Хитринско-Девненския вал на Северобългарското подуване, представляващо част от Мизийската платформа. Районът на подуването е блоково разчленен от множество разломи, като преобладават разседите със север-южна посока и потънали източни крила. Кариерата се разработва с 10, 15 и 25 метрови стъпала, като общата й дълбочина е 65 m. С цел оптимизация на работния процес и оценка устойчивостта на откосите, е проведено геологоструктурно картиране на стъпалата в кариерата обрушвания, тяхната динамика и обхват. Установена е добре развита вертикална и хоризонтална система от каверни и множество разломи нарушения в стъпалата на кариерата. Съставена е пологоструктурна карта, определие а сосновните пукнатинни групи и е дефиниран блоковият модел на кариерата. Извършените изследвания показват, че във варовиците на Каспичанската свита, разкриващи с в в рамките на кариерата, е развита мого добре ортогонална пукнатинна система, включваща една субхоризонталана и две субверти-кални пукнатинни групи. Пукнатините от тези групи имат систематичен характер и са ориентирани закономерно в пространството. В отделни точки са развити и несистематични пукнатини, но те имат локален характер и значение. Направени са изводи за връзката на пукнатинния модел с устойчивостта на откосита на откосите и мината технология.

Ключови думи: геологоструктурно картиране, пукнатинни групи, устойчивост на откоса

NEW GEOSTRUCTURAL DATA FOR "LYULYAKATA" QUARRY, DEVNYA DISTRICT

Temenuga Georgieva¹, Venelin Jelev¹, George Ajdanlijsky¹, Antonio Lakov¹, Stoyan Stoyanov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, t.georgieva@mgu.bg, vjjelev@yahoo.com, g.ajdanlijsky@mgu.bg, tony_lakov@abv.bg

² Devnya Limestone AD, Chernevo village, stoyan.stoyanov@solvay.com

ABSTRACT. "Lyulyakata" quarry is situated north of the town of Devnya, Varna region. Organogenic and micritic limestones are mined here mainly for the chemical and cement production. They belong to the Kaspichan Formation of Lower Cretaceous (Berriasian-Hauterivian) that crops out in the core of the Hitrino-Devnya swell of the North-Bulgarian dome, part of Moesian platform. The dome region is disintegrated by a multitude of faults but north-south trending normal faults with subsided eastern wings are prevailing. The quarry is developed in 10, 15 and 25 m high steps at total depth 65 m. Aiming the exploitation process optimization and bench stability estimation a geologostructural mapping of the quarry benches is done and the parameters of the fracture and faults (orientation, spacing, intersections) are measured. Moreover, a study of the existing collapses, their dynamic and spread are investigated. A well developed vertical and horizontal system of caverns as well as a multitude of faults is established in the quarry. Geostructural map is completed. The main joint sets are determinate and the block model of the quarry is defined. The structural investigations demonstrate that the limestones of Kaspichan Formation exposed in the quarry are featured by a distinct orthogonal joint system consisting of one subhorizontal and two subvertical joint sets. The joint sets have systematic character and regular orientation. In some points non-systematic joints could be observed but they have local distribution and significance. Conclusions about the connection between the structural model, bench stability and mine technology has been done.

Key words: geostructural mapping, joint sets, bench stability

Въведение

Кариера "Люляката" се намира северно от гр. Девня и главния път Варна – София. Геоморфоложки, районът попада западно от Варненското плато и северно от Провадийското плато. В кариерата се добиват долнокредни (бериас-хотривски) варовици на Каспичанската свита, разкриваща се в ядката на Хитринско-Девненския вал на Северобългарското подуване, което е част от Мизийската платформа. Районът на подуването е блоково разчленен от множество разломи, като преобладават разседите със север-южна посока и потънали източни крила. Тези разломи се схващат като сателитни на голямата Венелин-Толбухинска дислокация, отделяща Северобългарското подуване от Варненската падина. Районът е изграден изключително от седиментни скали на Долната и Горната Креда, Палеогена, Неогена и Кватернера. Долната Креда включва две литостратиграфски единици – Каспичанска и Горнооряховска свита. Каспичанската свита (бериасхотрив) е представена главно от органогенни и микритни варовици. В долните й части (извън района) се описват и доломитизирани варовици и доломити. Разкритата в кариерата дебелина е 65 m. Долната граница на свитата не се разкрива в района, а горната представлява бърз литоложки преход към мергелите на Горнооряховската свита. Последната на свой ред се покрива трансгресивно от горнокредните единици.

Върху източната периферия на подуването е наложена Варненската падина, маркирана от разкритията на горнокредни, палеогенски и неогенски седименти. Южно от нея се намира Провадийската синклинала, отнасяна към Преходната зона на Предбалкана от Бончев (1971) или към Мизийската платформа - от Йовчев и др. (1971).

Целта на настоящото изследване е свързана с прогнозна оценка на стабилността на бордовете на отделните хоризонти на кариерата, с оглед определяне на геоложкия риск, от височината на стъпалата и ъгъла на откоса. Основните задачи включват геологоструктурни и инженерногеоложки изследвания в кариера "Люляката", анализ на данните за разривните структури в нея, определяне на техния произход, характер и кинематика.

Методика на изследването

Набирането на необходимата за целите на изследването геолого-структурна и инженерно-геоложка информация е осъществено посредством теренни проучвания, проведени в три основни етапа. През първия етап е извършена рекогносцировка на бортовете на кариерата, с цел определяне на представителни разкрития за геолого-структурните и инженер-геоложките изследвания. На тази основа, през втория етап са проведени геолого-структурна фотодокументация и инженер-геоложки измервания в характерни точки. Полевата документация включва заснемане на части от бортовете (по възможност в поне две перпендикулярни сечения), измерване ориентировката и определяне гъстотата на пукнатинните групи, с оглед изясняване блоковия модел на масива, определяне състоянието на стените на пукнатините и измерване на якостта на стените на пукантините in situ, с помощта на чук на Schmidt тип L. В част от документираните точки, ориентировката на бортовете съвпада приблизително с ориентировката на една от субвертикалните пукнатинни групи, което не позволява определянето на гъстотата на тази група. В такива случаи, при изчисленията е приемана гъстотата на тази група, определена в най-близката точка, позволяваща подобен тип измервания. Там, където е възможно, гъстотата на пукнатините е определяна на терена, като само е демонстрирана и допълнена за някои точки от фотодокументацията. Измерването на гъстотата е извършвано нормално на разпространението на пукнатините, като е определян броят им на линеен метър. Третият етап от полевите работи включва картиране на главните разломни структури, при което, като основни критерии за разпознаване на разломните структури са ползвани разместване на характерни стратиграфски нива (пластове), тектонска глина по пукнатинните (разривни) структури и тектонски огледала (харниши) с бразди на триене.

Камералната работа включва следните процедури: (а) съставяне на структурни диаграми за обособяване на пукнатинните групи при използване на равноплощната

стереографската мрежа на Schmidt, като са построени структурни диаграми, както за отделните точки на наблюдение, така и една обобщена диаграма за пукнатините и разломите в цялата кариера; (б) обработка на теренните данни и съставяне на геолого-структурна карта на кариерата; (в) оформяне на фотодокументацията и интерпретиране на пукнатинния модел, получен на диаграмите и в разкритията; (г) инженер-геоложка обработка и интерпретация на данните с цел прилагане на геомеханични класификации и извършаване на оценка на устойчивостта на бордовете на кариерата (Георгиева и др., 2015).

Резултати от теренните изследвания и геологоструктурната документация

Събраните теренни данни от геолого-структурното картиране послужиха за съставянето на геолого-структурна карта (фиг. 1), която се различава съществено от картата в М 1:100 000 на Чешитев и др. (1991, 1992). Според получените при настоящото изследване данни, по-голямата част от изследваната площ е заета от органогенните и микритни варовици на Каспичанската свита, чиято подложка не се разкрива на повърхността. С рязък литоложки контакт тя се покрива от мергелите на Горнооряховската свита. Последната е запазена в югоизточната част на плошта, главно в една дъговидна грабенова структура със стъпаловиден характер (фиг. 2). Малки фрагменти от свитата са запазени и в оградните блокове. Видимата вертикална амплитуда на потъване е над 25 m. Слоестостта в Каспичанската свита е много ясно изразена. В изследваната площ тя е субхоризонтална, с наклони вариращи от 5° до 28°, като страната й варира от СЗ до ЮИ, което е характерно за платформените куполовидни структури.

Пукнатини

Проведените изследвания показват, че във варовиците на Каспичанската свита, разкриващи се в рамките на кариерата, е развита много добре ортогонална пукнатинна система, включваща една субхоризонталана и две субвертикални пукнатинни групи. Пукнатините от тези групи имат систематичен характер и са ориентирани закономерно в пространството. В отделни точки са развити и несистематични пукнатини, но те имат локален характер и значение.

Систематичните пукнатинни групи имат следните характеристики:

- група j₁ е субхоризонтална и съвпада със слоестостта ss. В долните части на разреза (долните хоризонти на кариерата) тя е затворена, трудно различима, поради което гъстотата й е сравнително малка. В средната част на разреза (хор. 160) тя се маркира ясно от зеленикава глина, образувана по назъбени стилолитови повърхнини, резултат от литостатичния натиск. Тази група (=ss) е полегата (5÷28°), като в отделните точки потъва на СЗ, СИ, И и ЮИ. Генералната посока на потъване на групата е на североизток (55/12°).
- група ј2 е субмеридионална и субвертикална. Посоката й се изменя от СЗ до СИ, а наклоните й са около 90°, като варират в двете противоположни посоки, дори и в една и съща точка. Статистическата й ориентировка, изведена за всички 409 бр. пукнатини, измерени в кариерата, е 262/83°. В много точки пукна-







Фиг. 2 Фотопанорама на грабена в югоизточната част на кариера "Люляката" с геоложка интерпретация.

тините от тази група са окислени. Макар и рядко, по някои от тях са развити харниши. Преобладават незапълнените пукнатини – много рядко се наблюдават тънки (до mm) калцитни прожилки, които са свързани с харнишите. На места се установяват и тънки глинести примазки. Гъстотата на тази пукнатинна група зависи от местоположението й в разреза – тя е найголяма в горните стратиграфски нива, в близост до земната повърхност.

✓ група ј₃ е субекваториална и субвертикална. Посоката й варира от ЮЗ до СЗ, а наклонът е в двете посоки, като преобладава южният. Статистическата й ориентировка, изведена за всички пукнатини в кариерата, е 183/83°.

Морфологията на двете субвертикални пукнатинни групи j₂ и j₃ е аналогична. Пукнатините са гладки и издържани. Гъстотата им варира, като нараства в разломните зони, които са успоредни на тях. Пукнатините от горните хоризонти са отворени и окислени. Преобладават незапълнените пукнатини, единични са случаите на тънък калцитен или глинест пълнеж.

Ориентировката на двете субвертикални пукнатинни групи съвпада и с ориентировката на двете основни разломни групи. Трите ортогонални пукнатинни групи обуславят много ясен призматичен строеж на варовиците от Каспичанската свита. Призмите представляват паралелепипеди с дълги вертикални и къси хоризонтални стени. Съотношението къса/дълга стена зависи от развитието на субхоризонталната пукнатинна група j1, съвпадаща със слоестостта ss, т.е. близо до повърхността то е малко (напр. фиг. 1, т. 314), а в дълбочина се увеличава, какъвто е случаят при т. 319 на хор. 160 (фиг. 3). Останалите пукнатини, документирани в отделните точки, са несистематични и имат случаен характер. Те са използвани при определяне на блоковия модел в конкретните разкрития (точки).

Закономерната ориентировка на трите ортогонални пукнатинни групи дава основание да се предположи, че те са свързани с глобалната ортогонална разривна мрежа, съществувала в края на ранната креда, по време на австрийските деформации, проявени на юг от Мизийската плоча в Балканидите.



Фиг. 3. Геологоструктурна фотодокументация и интерпретация на т. 319 от западния борт на хоризонт 160.

Разломи

Освен оградните на грабеновата структура разломи, споменати по-горе, множество разломи са установени и в откосите на кариерата в Каспичанската свита. Пространствено тези нарушения могат да се обединят в две групи: субмеридионални (С-Ю) и субекваториални (И-3). За два разлома от първата група може да се определи видимата вертикална амплитуда. Това са разломите, установени при т. 321 и при т. 329 (фиг. 4). Първият разлом представлява разсед с потънало западно крило, с вертикална амплитуда около 2 m, маркиран от тектонска глина и разместване на добре очертани пластове със стилолитова глина. Вторият разлом е също разсед, но с потънало източно крило, с вертикална амплитуда 1 m, също установена по разместването на добре очертани варовикови пластове. По разломната повърхнина се наблюдават харниши и тектонска глина.



Фиг. 4. Разсед с вертикална амплитуда 1m в източния борт на хор. 135, т. 329

Кинематиката на останалите субмеридионални разломи е определена главно по харниши с минерална линейност. По тези критерии е установен разсед, с потънало източно крило при т. 344. Най-вероятно този разлом се свързва с разлома, установен при т. 335, като тук той има характер на десен отсед-разсед, с потънало източно крило. Разсед, с потънало западно крило, е установен и при т. 327. Подобен разсед, но с потънало източно крило, е маркиран и при т. 315. Останалите субмеридионални разломи (напр. при т. 344) са с неизяснена кинематика – маркират се само от тектонска глина (фиг. 5). Тази група от разломи трябва да се схваща като резултат от движенията по регионалната Венелин-Толбухинска дислокация.



Фиг. 5. Геологоструктурна фотодокументация и интерпретация на т. 344 от хоризонт 160

Втората група разломи са субвертикални, но с неизяснена кинематика, тъй като се маркират само от тектонска глина. На фигура 6 (т. 343) е показана широка около 10 m зона с тектонска глина, развита по субвертикалната пукнатинна група јз. Изключение прави разломът при т. 339, по повърхността на който е развита тънка (1÷2 mm) калцитна прожилка с бразди на триене, определящи разлома като ляв отсед-разсед. В т. 316 са установени харниши по две пукнатини, които маркират възседни движения.



Фиг. 6. Геолого-структурна фотодокументация и интерпретация на т. 343 от западния борд на хоризонт 160.

Извършеният анализ на резултатите дава основание да се направи заключението, че Каспичанската свита в рамките на кариера "Люляката" е засегната от множество разломи, но с малка амплитуда.

Карстификация

В кариерата се наблюдава много добре развит карст, като той е най-ясно изразен по главните пукнатинни групи в масива. По размери карстовите форми варират в много широки граници, като се наблюдават, от кари в най-горните хоризонти на кариерата, до каверни с огромни размери в по-долните нива. Всички каверни на хор. 185, който е найблизо до повърхността, са запълнени с глинест запълнител, като размерите им във видимата част са от 2х4 m до 4х6 m. На хор. 145 при т. 322 също се наблюдава развитие на карст с глинест запълнител, с размери на каверната над 4х6 m. От хор. 160, продължавайки към хор. 145, се проследява карстова система без запълнител с ширина над 4 m. Същата система се проследява в северния борд на хор. 145 при т. 323 (фиг. 7).



Фиг. 7. Развитие на каверна без запълнител по карстова система при т. 323 в северния борт на хор. 145.

Заключение

Въз основа на проведените теренни изследвания и анализ на събраните при тях данни, могат да се направят следните изводи и препоръки:

- При разработването на кариерата много удачно е използван пукнатинният блоков модел и по-точно ориентировката на главните разривни нарушения (пукнатини и разломи). Бордовете на стъпалата са разработени по посока на пукнатинна група ј2 (т.е. със север-южна посока), а фронталните им части – по ј3 (т.е. с изток-западна посока). Този подход има две предимства: първото е, че улеснява изземването на варовиците от скалния масив, а второто е, че откосите на стъпалата съвпадат с някоя от субвертикалните пукнатинни групи, което благоприятства тяхната стабилност (Георгиева и др., 2015).
- $\dot{\mathbf{v}}$ В голяма част от кариерата, наклонът на бортовете съвпада с наклона на ј2 или ј3, което благоприятства тяхната устойчивост. В отделни случаи, обаче, пукнатинната група потъва срешу наклона на борта, като се образуват висящи блокове, представляващи технологичен риск при провеждане на добивните дейности в кариерата. Такива се наблюдават в западния откос на хор. 160 (източния участък – т. 307 и т. 344) и в западния откос на хор. 185 (т. 338). За хор. 160 този проблем може да се реши чрез изземването на целика, по който минава централният път, а за хор. 185 е необходимо да се намали височината на стъпалото. Образуването на висящи блокове е възможно да се контролира чрез правилно проектиране на последователността на зарядите при извършването на технологични взривявания в кариерата. Това би могло да се предотврати с промяна на проектирането и изпълнението на взривните работи в кариерата.
- Изземването на скалния масив води до освобождаването на големи пространства и до разтоварването му, което от своя страна предизвиква гравитационно отваряне на пукнатините по посока на свободното пространство. Основен фактор, влияещ върху този процес, е времето, т.е. продължителността на изложение на откосите между две взривявания, както и атмосферните въздействия (най-вече валежите). Освен ясно оформените три ортогонални пукнатинни групи, в района на т. 331 се наблюдава гравитационно завъртане и отваряне на j₂, която е успоредна на

борта. С този процес е свързано и образуването на гравитационни тензионни пукнатини (пукнатини на скъсване) jt, които са коси на j2. Те са с неравни повърхнини, коси са на главните систематични групи и винаги са наклонени към освободеното (иззетото) пространство (фиг. 8). Влиянието на този процес може да се намали чрез намаляване на свободното пространство пред откоса, т.е. чрез намаляване височината на стъпалата и по-интензивно провеждане на добивните работи в този участък от кариерата.

- Неравните дъна на стъпалата са проблем, който е свързан, както с геоложкия строеж, така и с технологията на взривните работи. Систематичната пукнатинна група ј1, съвпада със слоестостта ss. Тя разделя варовиците на пачки с различна компетентност, които реагират различно на взривяването, като създават стъпаловиден релеф на дъната на стъпалата.
- Друга потенциална опасност, представляваща технологичен риск, свързана и с начина на прокарване на взривните сондажи, е процесът на карстификация. Той се наблюдава предимно по разломите с тектонска глина. Техните повърхнини са окислени, което показва, че те дренират повърхностните води и изнасят глината, като формират карстови кухини с различни размери. Този процес трябва да се има предвид при проектирането на взривните сондажи.

Литература

- Бончев, Ек. Проблеми на българската геотектоника. С., Техника, 1971. – 204 с.
- Георгиева, Т., А. Лаков, В. Желев, Г. Айданлийски, Ст. Стоянов. Оценка на устойчивостта на стъпалата на кариера "Люляката" по метода на Маркланд. Сб. докл. XIII Конф. по открит и подв. добив, 2015. (под печат).
- Йовчев Й., А. Атанасов, Ст. Богданов, Ст. Бояджиев, Ив. Боянов, М. Йорданов, Ил. Кънчев, С. Савов, Г. Чешитев *Тектонски строеж на България*. Техника, С. 1971. – 558 с.
- Чешитев, Г. В. Миланова, Н. Попов, Е. Коюмджиева. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100 000. Картни листове Варна и Златни пясъци. Геол. и геофиз. АД, С., 1991. – 75 с.
- Чешитев, Г. В. Миланова, Н. Попов, Е. Коюмджиева. *Геоложка карта на България в М 1:100 000. Картни листове Варна и Златни пясъци.* Геол. и геофиз. АД, С., 1992.

Статията е рецензирана от доц. д-р Ивайло Копрев и препоръчана за публикуване от кат. "Подземно разработване на полезни изкопаеми".

ОЦЕНКА НА РИСКА ОТ НАВОДНЕНИЕ В ЕЛХОВСКОТО СТРУКТУРНО ПОНИЖЕНИЕ В РАЙОНА НА ГР. ЕЛХОВО

Красимира Кършева

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; e-mail: kkursheva@gmail.com

РЕЗЮМЕ. През последната година темата за наводненията в България е особено актуална. Водните стихии причиниха материални щети в изключително големи размери и взеха десетки жертви. На територията на община Елхово интензивните валежи доведоха до критично покачване на водите на река Тунджа и заливане на част от града, вследствие на което бяха евакуирани десетки семейства, а щетите са оценени на десетки хиляди лева. Настоящото изследване, базирано на интегрираното прилагане на ГИС, хидроложки и хидравлични модели, може да се използва за оценка на риска от наводнения в изследвания район. Разработените карти на заплахата и риска от наводнения са на базата на хидроложки и хидравлични модели, създадени чрез прилагане на ArcGIS, HEC-geoRAS и HEC-RAS софтуер. Симулациите върху променливия воден отток и възможното му географско разпространение доказват, че големи части от населеното място са изложени на реален риск от наводнение. Построените защитни диги не са в състояние да предпазят адекватно населеното място от това природно бедствие. Въз основа на изследване, ще бъде разработена рамка от защитни мерки, която ще предлага практически осъществими решения.

Ключови думи: ГИС, природен риск, хидравлично моделиране

FLOOD RISK ASSESSMENT AT THE ELHOVO STRUCTURAL DECLINE IN ELHOVO TOWN Krasimira Karsheva

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail: kkursheva@gmail.com

ABSTRACT. Over the past year, the theme of the floods in Bulgaria is particularly relevant. Heavy rains have caused a material damage in very large scope and took victims. Intense rainfall of the Elhovo Municipality area has led to critical rise of the Tundzha river water level and has flooded parts of the town. As a result dozens of families were evacuated and the damages were evaluated on thousands of levs. This study, based on the application of GIS, hydrological and hydraulic models, can be used for flood risk assessment in the research area. Developed maps of the threat and the flood risk are based on hydrologic and hydraulic models, created through the application of ArcGIS, HEC-geoRAS and HEC-RAS software. Simulations of unsteady water flow and its geographical distribution prove that large parts of the settlement, are at real flood risk. Existing dikes are unable to protect adequately the settlement from this natural disaster. Based on this study a framework of safeguards will be developed. It will offer viable solutions and basic design guidelines for the protection of the settlement of flooding.

Key words: GIS, natural hazard, hydraulic modelling

Увод

През последната година темата за наводненията в България е особено актуална. Водните стихии причиниха материални щети в изключително големи размери и взеха десетки жертви. На територията на община Елхово интензивните валежи доведоха до критично покачване на водите на река Тунджа и заливане на част от града, вследствие на което бяха евакуирани десетки семейства, а щетите са оценени на десетки хиляди лева.

Обект на настоящото изследване е част от землището на гр. Елхово и преминаващото през него корито на река Тунджа. Тя извира от централната част на Стара планина източно от вр. Ботев (фиг. 1), като басейнът на реката заема Североизточната част на Източнобеломорския район. Водосборната област на Тунджа възлиза на 8836 km².Тя е най-големият приток на р. Марица, който се влива в нея на турска територия. Дължината й до границата е 350 кm. От Калофер до Ямбол протича на изток, като след това прави завой на 90° на юг и запазва тази посока до вливането си в р. Марица. Във връзка с Директива 2007/60/ЕС относно оценката и управлението на риска от наводнения и изготвянето на планове за управлението на риска от наводнения от страните членки на ЕС, настоящото изследване, базирано на интегрираното прилагане на ГИС, хидроложки и хидравлични модели, има за цел да направи оценка на риска от наводнения в изследвания район. В хода на работата са извършени симулации, с цел да се изчислят обхвата на вероятните наводнения, височината на водния стълб, както и скоростта на речното течение в изследвания участък.

Данни за геоложкия строеж на района

Стратиграфия

В района на изследването се разкриват неогенски и кватернерни седиментни скали (фиг. 2).



Фиг. 1. Схема на водосборния басейн на р. Тунджа

Неогенската система е представена от Елховската свита (Коюмджиева и др., 1984; Меот-Плиоцен). Наименувана е на град Елхово, в околностите, на който е описана подробно. В нея са отделени долна част (подвъглищна), Изгревски въгленосен член, горна част (надвъглищна) и Дугановски член. При извършените покъсно ревизионни изследвания (Дабовски и др., 1994б; Димитров и др., 2010) се установява, че ядчестите варовици на Дугановския член лежат в основата му и представляват вероятно елемент на по-стара седиментация (Дабовски и др., 1994б). Инфилтрационните варовици, описани от Ангелова и др. (1991) като Пръстнишка свита са с еоплейстоцен-плейстоценска възраст. Те се разкриват в най-високите нива на Елховската свита, Последната лежи трансгресивно и дискордантно върху пъстра подложка (разкрива се извън района на изследването) от скали с възраст от Докамбрия до Късната Креда включително. Покрита е от кватернерни образувания.



Фиг. 2. Геоложка карта на района (по Дабовски и др., 1994а, с изменения)

 алувиални образувания - руслови и на заливните тераси (Холоцен); 2 – алувиални образувания от надзаливните тераси (Плейстоцен); 3 – Елховска свита – песъчливи глини, пясъци, лигнити (Меот-Плиоцен); 4 –пътна инфраструктура. Кватернерните наслаги са широко разпространени. Представени са от алувиални седименти с плейстоценска и холоценска възраст.

Към плейстоценските наслаги се отнасят чакълите и пясъците от надзаливните тераси на р. Тунджа. Дебелината им е до 2,5 m. Горноплейстоценските алувиални отложения са изградени от дребнокъсови, добре загладени чакъли, гравии и грубозърнести пясъчници. Тяхната дебелина е около 5-8 m.

Холоценът е представен от алувиалните образувания в речните русла и заливните тераси. Това са чакъли, гравии и песъчливи глини, чиято обща дебелина не надминава 8m (Дабовски и др., 19946).

Тектоника

В тектонско отношение изследваният район попада в Елховското структурно понижение (Савов, 1983), което е резултат от осъществени вертикални движения по Тунджанския разломен сноп, заемащ субмеридионална посока.

Методика на изследването

Използвани данни при моделирането

Пространствените данни за разработването на модела, очертаващ наводнението, са получени от различни източници. Данните за надморските височини, използвани за генериране на цифровия модел на терена на изучаваната територия, са получени чрез дигитализация на ЕТК 1:5000. Данните за земното покритие са получени от проект "Корине земно покритие 2012", публикувани на сайта, на Изпълнителнатаа агенция по околна среда (ИАОС). Направени са полеви GPS измервания на потенциално уязвими от наводнение зони по течението на реката от гр. Ямбол до гр. Елхово. За хидравличното моделиране са използвани хидроложки данни от дъждомерните станции на НИМХ-БАН, публикувани на сайта на института, както и статистически данни за периода 1961-2004 г. от Плана за управление на водите 2010-2015 г. на Басейнова дирекция за управление на водите, Източнобеломорски район - Пловдив.

Създаване на ЦМТ за хидроложки коректна повърхност

Цифровият модел на терена (ЦМТ) се използва за визуални и математически анализи на терена и земните форми, както и за моделиране на повърхностни процеси (ArcGIS Resources). Точността на хидравличния модел зависи най-вече от точността на ЦМТ, като тя се определя от типа на данните и действителната техника на измерване на терена, когато се създава ЦМТ. Той предоставя най-добрата възможност за представяне на топографска информация, моделиране на повърхностен отток и контрол на факторите, влияещи върху моделите на разпространение на земните процеси (ArcGIS Resources). В това изследване, цифровият модел на терена е генериран в ESRI ArcGIS среда.

Земно покритие и класификация на земеползването

За получаването на информация за земеползването в

обхвата на изучаваната територия, във връзка с определяне на коефициента на триене на различните земни единици (коефициент на Манинг), са използвани данни от проекта "Корине Земно покритие 2012" (фиг. 3). Коефициентът на Манинг описва специфични условия на отточни събития, осреднени условия в обхвата на водния отток или очаквани условия за бъдещи отточни събития (Phillips, Tadayon, 2007).

Проектът "Корине Земно покритие 2012" е предназначен да осигури последователна локализирана географска информация за земното покритие и земеползване. Данните от него могат да се използват директно при определяне и прилагане на политики за околната среда в България (климат, ЦМТ, почвата и т.н.), както и за създаването на многокомпонентни оценки (например картиране на ерозионните рискове).

Проектът "Корине земно покритие 2012" се базира на сателитни изображения. За информационните серии от 2012 г., за подпомагане на процеса на класификация на земното покритие, са използвани допълнителни векторни масиви от данни. Пространствената и спектралната резолюция определя способността на сателитния сензор за заснемане на обекти на повърхността на Земята. За заснемането на изображенията от 2012 г. Европейската космическа агенция, в сътрудничество със Световната програма за мониторинг на околната среда и сигурността (Global Monitoring For Environmental and Security (GMES) programme), използва комбинация от изображения от 2 нови спътника (SPOT-4 и IRS P6), с пространствена резолюция от 10x10 m (SPOT – панхроматичен) до 80x80 m (Landsat MSS). Мащабът на всички изходящи продукти е 1:100 000. Изискванията за минимални размери на картируемите обекти са: картируема плош – 25 ha. минимална ширина на линеен обект - 100 m, минимална ширина за полигони – 100 m. От 44 номенклатурни класа в проекта, 36 са представени на територията на България.

Хидравличен модел

HEC-RAS е еднодименсионално приложение, разработено OT Американския военен корпус на инженерите. Представлява интегрирана система, проектирана за използване при решаване на многокомпонентни задачи. Притежава многопотребителска мрежова среда, състояща се от графичен потребителски интерфейс, различни инструменти за хидравличен анализ, съхранение на данни и възможност за управление, инструменти за изготвяне на графики и отчети (US Army Corps of Engineers, 2010). За получаване на коректни хидравлични изчисления е препоръчително създаването на коректно дефинирана и точна земна повърхнина и надеждни данни за речния отток и минали хидроложки събития.

Моделиране

В тази фаза се съчетава използването на пространствени (цифров модел на терена), хидроложки и хидравлични данни, за да се изгради моделът на наводненията. Основните входни данни са цифров модел на терена, създаден на база ЕТК в мащаб 1:5000, върху който се създават, геометричните данни за хидравличния модел (напречни профили на речното корито, дефинирани ляв и десен бряг, централна линия на оттока, инженерни съоръжения и др.).



Фиг. 3. Данни за земеползването в изследваната територия от проекта "Корине земно покритие 2012", ИАОС.

1 – временни насаждения, гори, храсти; 2 – индустриални единици; 3 –лозя; 4 – населени места със свободно застрояване; 5 – ненапоявана орна земя; 6 – пасища; 7 – селскостопански култури; 8 – смесени гори; 9 – смесени селскостопански насаждения; 10 – спортни съоръжения; 11 – широколистни гори.

За създаване на геометрични данни (централната линия на течението - талвегова линия, моделиране на главния канал, напречните профили през коритото на реката) е използван набор от процедури и инструменти на HECgeoRAS, разширение към ArcGIS. Атрибутните данни, като надморска височина на напречните профили, надморска височина на речното корито и брегове, са прибавени към геометричните данни, чрез автоматично генериране от ЦМТ.

След създаването на необходимите данни за хидроложкото моделиране, към приложението HEC-RAS от ArcGIS се експортират т. нар. RAS слоеве, включващи данни като дебит, коефициент на Манинг, наклон на речното легло. След това се стартира моделът на наводнението, за да се изчисли обхвата на заливането, приемайки стабилните и неизменящи се характеристики на водния отток. Резултатите от модела се експортират и визуализират в ArcGIS.

Картиране на риска

Във фазата на картиране на риска, HEC-geoRAS извлича данни от напречните профили на речното корито от HEC-RAS и ги вгражда в картата на наводненията в GIS. Очертаването на залетите повърхности е възможно чрез използване на данните за повърхностния отток и цифровия модел на терена, създаден за главната река. TIN-ът на водната повърхност е конвертиран в GRID, базиран на размера на растерната клетка. След това се сравнява с растерния DEM, за да се изчисли денивелацията в рамките на очертания полигон. Надморските височини на водните повърхности, по-високи от надморската височина на терена, са съхранявани в GRID. Той съхранява информация за височината на водния стълб в залетите участъци. След това, този GRID се конвертира във векторни данни, определящи границите на заливаемите площи. След очертаването на обхвата на наводнението, данните се налагат върху топографска карта, за да се картират засегнатите сгради и конструкции.

Резултати

Хидравличното моделиране на р. Тунджа, при Елхово, доведе до създаването на следните карти: 1) на обхвата на наводнението и карта на риска;2) на височината на водния стълб и 3) карта на скоростта на оттока. При налагането на слоя с обхвата на наводнението върху пътната инфраструктура и сградния фонд, ясно могат да се идентифицират уязвимите области.

Обхват на наводнението и карта на риска

Картата на обхвата на наводненията с период на повторение 10, 20, 50 и 100 години (фиг. 4), показва мащаба на пиковите наводнения за изминалите години. Пространственото разпределение на заливаемите зони показва, че те се намират в райони със сравнително нисък релеф, възлизащ на около 8,74km², при наводнения с период на повторение 100 години. Наводнените зони са наложени върху топографските карти.



Фиг. 4. Карта на риска, показваща границите на заливане при наводнения с период на повторение 10, 20, 50 и 100 години.

Резултатът от налагането, показан на фигура 5, ясно идентифицира засегнатите структури. Редно е да се отбележи, че канализацията в населеното място е в доста лошо състояние, което допълнително усложнява обстановката по време на интензивни валежи (водата се връща и избликва обратно от нея върху пътната инфраструктура). В резултат на това при всеки по-силен и интензивен валеж или снеготопене, нивото на р. Тунджа се повишава критично и наводнява сградите. Главният път между гр. Елхово и с. Изгрев, който пресича реката в средното й течение, заедно с моста над нея, е с много висок насип (денивелацията между водната повърхност и пътното платно на моста е 5 m), което допълнително създава предпоставки за образуване на водозадържаща преграда и наводнение в приречните части на град Елхово.



Фиг. 5. Височина на водния стълб при наводнения с период на повторение 10, 20, 50 и 100 години.

Дълбочина на наводнението

Полученият модел (фиг. 5) показва, че височината на водния стълб варира от 2,9 m при наводнения с период на повторение 10 години до 4,2 m за наводнения с период на повторение 100 години. Като цяло, тя е с най-големи стойности по главната река, като се разпространява постепенно по заливната равнина. Също така, реката протича през терен с добре изразени стръмни наклони към реката, което е предпоставка за бързо изтичане на дъждовна вода или вода от снеготопене в речния канал.



Фиг. 6. Карта на разпределението на скоростите на водното течение

Скорост на течението

Симулациите възпроизведоха различни скорости на оттока в главния речен канал и наводнените територии. Като цяло високите скорости са регистрирани в главния канал, като стойностите, които се получават са 1,79 до 2,89 m/s (фиг. 6). Пространственото разпределение на скоростта на водния отток на водосбора показва корелация с пространственото разпространение на надморските височини, като високите стойности се наблюдават в горното течение, а по-ниските в долното.

Заключение

Това изследване ясно показва, че Географските информационни системи, в комбинация с модел на терена и дистанционно получени данни, заемат основно място в геопространствените анализи на хидроложкия цикъл, включително очертаването на границите на речния басейн, границите на заливаемите територии, както и картиране на риска. Интеграцията на HEC-RAS и GIS се използва все повече в световен мащаб, като осигурява по-точно представяне на дебита и на събитията, произтичащи от наводненията. Изследваната територия от коритото на р. Тунджа, при Елхово е успешно моделирана, като са очертани заливаемите зони. получени са стойности за височината на водния стълб при наводнения с период на повторение 10, 20, 50 и 100 години, създадена е карта с разпределението на скоростите в речното легло. Картата на земното покритие на водосбора ще помогне в понататъшните изследвания при оценка на щетите върху инфраструктурата и селското стопанство и изготвяне на евакуационни стратегии. С възможността от увеличаване на честотата и интензитета на валежните събития, като резултат ОТ климатични промени, нараствашото население, промени в градските територии, e препоръчително да се моделират заливните зони във връзка с устройственото планиране и управлението при кризи.

Литература

- Ангелова, Д. Н. Попов, Е. Миков. Стратиграфия на кватернерните седименти в Тунджанското понижение. *Сп. Бълг. геол. д-во*, *52*, 2, 1991. 99-105.
- Басейнова дирекция за управление на водите Източнобеломорски район - Пловдив. План за управление на речните басейни в Източнобеломорски район 2010-2015, Том III Тунджа. http://earbd.org/indexdetails.php?menu_id=367
- Дабовски, Х., С. Савов, Г. Чаталов, Г. Шиляфов. *Геоложка карта на България, М 1:100 000. Картен лист Елхово.* КГМР. 1994а.
- Дабовски, Х., С. Савов, Г. Чаталов, Г. Шиляфов. Обяснителна записка към геоложката карта на България, М 1:100 000. Картен лист Елхово. КГМР, Геология и Геофизика АД, С., "Болид",19946 – 75 с.
- Димитров, И., Д. Съчков, Б. Вълчев, К. Василева. Геохимични особености на калкретизираните площи от Тунджанското понижение, Югоизточна България, - Сп. Бълг. геол. д-во, 71, 1-3, 2010. – 25-39.
- Директива 2007/60/EC относноо ценката и управлението на риска от наводнения.
- Коюмджиева, Е., Ст. Стойков, Ст. Маркова. Литостратиграфия на неогенските седименти на Тунджанския (Елхово-Ямболския) басейн. - *Сп. Бълг. геол. д-во, 45,* 3, 1984. - 287-295.
- Савов, С. Строеж на Елховското структурно понижение. Сп. Бълг. геол. д-во, 44, 3, 1983. 326-331.
- ArcGIS Resources Esri, *Inc.* ArcGIS Help Library http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/
- Phillips, Jeff V., Saeid Tadayon. Selection of Manning's Roughness Coefficient for Natural and Constructed Vegetated and NonVegetated Channels, and Vegetation Maintenance Plan Guidelines for Vegetated Channels in Central Arizona. 2007. - 49 p.
- US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center HEC-RAS, River Analysis System Application Guide. V.4.1, 2010.

Статията е рецензирана от доц. д-р Борис Вълчев и препоръчана за публикуване от катедра "Геология и геоинформатика".

ТЕКТОНСКИ ПРОБЛЕМИ В БОТЕВГРАДСКО-ЕТРОПОЛСКАТА ЧАСТ НА БАЛКАНИДИТЕ

Янко Герджиков, Диан Вангелов, Зорница Доцева

Софийски университет "Св. Климент Охридски", 1504 София; janko@gea.uni-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. В продължение на десетилетия Етрополско-Ботевградската част от Балканидния ороген е разглеждана като гранична област между различни тектонски елементи. В последно време тази територия се тълкува като участък на преход между Западнобалканска и Централнобалканска зони, като по този начин се предполага съществуването на: 1) значителни различия в строежа и тектонскита еволюция и 2) голямо-амплитудни разломни зони по контактите на тектонските единици. Проведените от нас теренни изследвания и тектонски анализ налагат значителна ревизия на тези идеи. Съществуването на част от постулираните регионални гънкови форми не може да бъде потвърдено. Не се потвърждава и присъствието на съществени различия в строежа и времето на проява на основните компресионни деформации в обособените тектонски елементи. Всичко това налага преоценка на моделите за тектонска подялба на тази част от Балканидите. Съвременният облик орогена тук е оформен в резултат на терциерна компресия. Найважната късноаллийска зона е Плакалнишката, която контролира изнасянето на домезозойската подложка и формирането на частично развити подувания (basement-cored uplifts), тълкувани обикновено като антиклинали или антиклинории, породени от надлъжно огъване.

Ключови думи: Балканиди, Стара планина, тектоника, райониране, Плакалнишка разломна зона

TECTONIC PROBLEMS IN BOTEVGRAD-ETROPOLE PART OF THE BALKANIDES lanko Gerdjikov, Dian Vangelov, Zornitca Dotceva

Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1504 Sofia; janko@gea.uni-sofia.bg

ABSTRACT. For decades the Etropole-Botevgrad part of the Balkanide orogen is assumed as boundary area between different tectonic elements. In the last years this territory is regarded as a domain where transition between West Balkan and Central Balkan tectonic zones is occurring. This implies existence of: 1/ significant differences in the structure and tectonic evolution; 2/ presence of large-displacement fault zones along the contacts of the tectonic zones. Our field data as well as the results of tectonic analysis impose significant revision of these ideas. The existence of some of the postulated regional-scale folds cannot be confirmed. Also, there are no data to confirm the existence of significant differences in the structure and the timing of the main compressional deformations within the frames of the defined tectonic elements. All this requires re-evaluation of the proposed models for tectonic subdivision for this part of the Balkanides. The recent structure of the area is a result of Tertiary compression. The most important Late Alpine zone is Plakalnitsa fault which controls the emplacement of the pre-Mesozcic basement. This results in formation of partly-developed basement-cored uplifts, usually regarded as anticlines or anticlinoriums produced by buckling under lateral compression.

Key words: Balkanides, Stara planina, tectonics, zoning, Plakalnitsa fault zone

Въведение

Тектонското райониране на дадена територия представлява геометризация на геоложкото пространство, свързано с отделянето на тектонски елементи и дефинирането на техните граници. Това е заключителна стъпка в регионалния тектонски анализ, палеогеографски, която следва стратиграфски, петроложки, структурни и други изследвания. В продължение на повече от век, за Балканидното пространство са предложени редица модели за тектонска подялба. Несъмнено, по-ранните от тях отразяват фиксистки поглед върху орогена и акцентират върху присъствието регионални гънкови форми. на Съвременните идеи се определят от мобилистичен подход, отчитащ гънково-навлачния характер на Алпийския ороген. Тектонското райониране не е чисто академично начинание, а е научен подход с важно приложно значение при търсенето на изкопаеми горива и за създаването на металогенни модели.

За Балканидите са предложени различни модели за напречно (перпендикулярно на простирането на орогена) и надлъжно зониране. Докато за напречното зониране съществува относителен консенсус (отделяне на външни и вътрешни зони, обособяване на Старопланинска и Средногорска зони и др.), то за надлъжното райониране на Балканидите са предложени различни и често конфликтни интерпретации. Важно е да се отбележи, че използваното тук разбиране на термините напречно и надлъжно зониране са противоположни на тълкуването на Бончев (1986).

Основавайки се на строежа на Етрополско-Ботевградската част, е направен опит за анализ на тектониката и проблема с районирането на Балканидното пространство (фиг. 1). Този район е избран по няколко причини:

 Тук е мястото на съчленяване на три първоразредни тектонски единици, означавани с различни имена в регионалните разработки, посветени на тектонската подялба на България (Бончев, 1936, 1986; Иванов, 1998; Dabovski et. al., 2002, Дабовски, Загорчев, 2009). В текста се придържаме към дадените от Иванов (1998) наименувания - Западнобалканска, Централнобалканско-Предбалканска и Средногорска зони, които са използвани и при изготвянето на новата геоложка карта в М 1:50 000.

- Повечето тектонски модели предполагат "вклиняване" на Западнобалканската зона в Централнобалканско-Предбалканската. Това е геометрично решено с използването на Плакалнишкия и Етрополски разломи.
- Неизясненият проблем с трасирането на северната граница на Средногорската зона и нейната

конфигурация, маркирана от серия разломни зони с недобре документирана геометрия, характер на деформациите и време на тяхната проява (Видличка дислокация, Кашанска зона на срязване, и др.).

- Утвърждаването на недобре дефинирани гънкови структури, като първостепенни тектонски елементи в строежа на тази част от Балканидите.
- Противоречивите интерпретации за кинематиката и времето на проява на главните разломни структури, включително и на съпътстващите ги такива от понисък порядък.
- Наличието на над 15 находища и рудопроявления в района и трудното обвързване на тектонската с маталогенната карти.



Фиг. 1. Тектонска схема на Ботевградско-Етрополския район.

Състояние и анализ на проблема

Ст. Бончев (1910) излага тезата, че строежът на Балканидите се доминира от няколко големи антиклинални структури. Тези идеи са доразвити в серия от работи на Ек. Бончев (обобщени в Бончев, 1986), където се постулира съществуването на Берковски, Свогенски, Шипченски и Средногорски антиклинории. Така лансираният гънково-антиклинориален модел за строежа на Балканидите е почти без промени трансформиран в мобилистичен тектонски модел от Иванов (1998). Той изрично отбелязва, че предложената от него схема се основава: " ...преди всичко на базата на структурни признаци - характера на деформациите и времето на тяхното проявяване". Съществен принос в работите на Иванов е опитът да се мотивират и характеризират границите на първоразредните тектонски елементи – тектонски зони и единици. В качеството на такива са описани Видличкият навлак, Кашанската, Плакалнишката зони и Етрополският разлом. Според Иванов (1998) Плакалнишкият разлом, който се тълкува

като североизточна граница на Западнобалканската зона, свършва рязко в долината на р. М. Искър и неговото трасиране на изток не може да се продължи. Антонов и др. (2010) описват продължението на Плакалнишкия разлом на изток от долината на р. М. Искър, но вече само като структура в рамките на Централнобалканско-Предбалканската зона.

В други регионални разработки (Яранов, 1960; Ангелов и др., 1992; Чешитев и др., 1995 и др.) са предложени различни модели на тектонска подялба, без да са изложени конкретни данни и мотиви за трасирането на геоложките граници. Може да се обобщи, че според съществуващите модели, основните тектонски зони, за които се предполагат най-значителни транслации по време на терциерната орогенеза, са Кашанската и Плакалнишката. Изложените в литературата данни за тези зони са недостатъчни.

В настоящото изложение се излагат в резюмиран вид вижданията ни за тези важни структури. Те са обект на

изследване на колектива и в момента предстои публикуването на конкретни данни за тях.

Кашанска зона

В литературата са изложени силно противоречиви възгледи за геометрията, кинематиката и възрастта на тази структура, наскоро резюмирани от Антонов и др. (2010). Към момента разполагаме с конкретни теренни данни за района по цялото й протежение - от меридиана на вр. Звездец до към с. Антон на изток. Категорично се придържаме към изложените по-рано идеи (Gerdjikov, Georgiev, 2005; Лазарова, Герджиков, 2008) за наличието на обемни, крехко-пластични по характер, северновергентни навлачни срязвания в обхвата на зоната. Наскоро установихме такива деформации във филитния разрез (Филитна задруга по Антонов и др., 2010), разположен в близост до Веженския плутон, в участъка на изток от рудник Елаците. С изключение на малки участъци (западно от прохода Кашана), зоната се следи непрекъснато на терена. На запад от рудник Елаците, в най-северните си участъци, зоната е реактивирана от наложени крехки разломявания с отседен, възседен и порядко с разседен характер. Въпреки че в този участък има индикации за присъствието на вероятно терциерни, северновергентни, компресионни разломявания, не може да се потвърди съществуването на единна, регионална навлачна структура с такъв характер. Нещо повече, свързването на тези нарушения с Видличкия навлак и постулирането на издържана на десетки километри навлачна структура, играеща роля на северна граница на Средногорската зона (Иванов, 1998), не са мотивирани с конкретни данни, нито могат да се документират с теренни наблюдения.

Плакалнишка зона

Данните за тази най-важна за строежа на района структура са наскоро резюмирани от Ангелов и др. (2010) и Антонов и др. (2010). Проследява се на повече от 100 km в северозапад-югоизточна посока (Калайджиев, 1990). За Ботевградско-Етрополския район е най-подробно характеризирана от Антонов (1971). Най-често е представена от широка (десетки до стотици и повече метри) зона от суб-паралелни нарушения, най-вече с възседен и отседен характер. Силната катаклазна обработка в обхвата на зоната е причина за относително слабата разкритост на скалите от ядрото на зоната. В литературата доминира мнението за основно стръмната геометрия на зоната и преобладаващата компресионна компонента на срязване. Стръмният наклон на зоната може да се тълкува било като рампов участък, било като резултат от реактивацията на разседно нарушение (по модела на "inversion tectonics"). Съществуват данни, които указват. че позицията на зоната е предопределена от по-ранни тектонски процеси. На първо място, това е локализирането на суб-паралелни на зоната, деформирани, най-вероятно синкинематични къснохерцински гранити (Рибаришки тип по Ангелов и др., 2010). На второ място, това са данните от по-ранни изследвания за контролиращата роля на структурата върху мезозойската седиментация (Стоянов, Ненов, 1975; Калайджиев, 1990).

След анализ на съществуващата литература и картни материали, а също и след теренна проверка, наскоро

предложихме свързването на Плакалнишката зона на югоизток със зоната на Рибаришкия възсед (Vangelov et al., 2013). На този етап не е ясно дали може да се говори за единна структура, или това са две независими зони, чието припокриване става в сложно блоково разломения участък около с. Ямна.

Етрополски разлом

Аналогично на Кашанската зона и за това нарушение са предложени контрастно различни интерпретации, вариращи от северновергентен възсед, ляв отсед до разсед (Ангелов и др., 2010). Несъмнено, това е породено от липсата на изложени конкретни данни за разломната зона и ядрена част на разлома. Поради слабата разкритост, зоната е много трудна за изучаване. Не буди съмнение силната деформираност на юрския разрез в близост до разлома, за участъка между Етрополе и с. Бойковец. По отношение на последните движения по зоната, може да се съгласим със становищата на Антонов (1971) и Ангелов и др. (2010), че те са с разседен характер. Заслужава да се отбележи, че мезоструктурите в юрския разрез насочват към вероятно по-раннен етап на компресионни или транспресионни деформации.

Липсата на данни за конкретната кинематика на деформациите в обхвата на зоната на Етрополския разлом и за евентуално поне двукратната тектонска активация на тази зона, несъмнено силно затрудняват анализа. Все пак, на базата на тектонския анализ и балансирането на разрези може да се заключи, че няма основание да се възприеме лансираното тълкуване на зоната като граница между две първоразредни зони в строежа на Балканидите. От геометрична и кинематична гледна точка е особено неприемливо едно такова тълкуване при: 1) разседна кинематика на Етрополския разлом и 2) ясно документиране на продължението на Плакалнишката зона на изток от долината на р.Малък Искър.

Относно съществуването на гънкови структури с регионален характер

Присъствието в строежа на Балканидите на големи позитивни гънкови структури с характер на антиклинории, е дълбоко утвърдена представа, която идейно кулминира в работата на Цанков (1986). Те са разглеждани не само като доминиращи структури, но промените в ориентировката на техните оси са използвани като критерий за напречно поделяне на орогенното пространство. Такъв е случаят с Етрополската линия на Бончев (1986, стр. 67).

Преоценка на тези идеи вече е направена от Иванов (1998), с категоричното мнение, че "...главните черти в строежа на Западнобалканската зона се определят не от наличието на големи гънкови съоръжения мегаантиклинали и антиклинории, а от съществуването на добре изразени североизточновергентни възседни повърхнини с регионален характер, разграничаващи няколко параавтохтнонни пластини, надхлъзнати една върху друга". Проведените от нас теренни изследвания и опит за балансиране на разрези (Vangelov et al., 2013) ни дават основания категорично да подкрепим тези идеи. Нещо повече, считаме че няма основания да се постулира съществуването на Централнобалканска антиклинала (или Шипченски антиклинорий). Тази структура е почти напълно лишена от южно бедро, а в участъците, където мезозойските разрези са частично запазени (прим. в участъка на Кашанската зона, в района на селата Буново и Челопеч), алпийската тектонска обработка е интензивна и ориентировките на слоестостите са напълно преориентирани от свързаните с разломяванията срязвания.

Дискусия и заключение

Отчитайки доминиращата роля на терциерното структурообразуване, районирането следва да се базира на късноалпийския строеж, където несъмнено най-важна роля играе Плакалнишката зона. Разглежданата територия е част от Балканидния гънково-навлачен пояс, където се реализира преходът от въвличаща фундамента тектоника (thick-skinned) към плитка тектоника (thin-skinned). В този смисъл Плакалнишката зона и нейното продължение в посока изток (зона на Рибаришкия възсед) играят фундаментална роля като въвличането ограничаваща на фундамента. Следователно напречното ПО отношение на разчленяване на орогена се разграничават северна (Предбалканска) и южна (Старопланинска) части/зони. Тяхното засебяване е отдавна разпознато, а и се приема в най-новите тектонски модели за Балканидния ороген (Burchfiel, Nakov, 2015).

Старопланинската част се характеризира не само с посложен строеж, но и с широко представената и въвлечената в алпийските тектонски зони домезозойска подложка. Освен ролята на неотектонските разседи, издигането на фундамента е свързано най-вече с изнасянето във висящите крила на северновергетните компресионни зони. Допълнителен резултат от тези процеси е разкъсването и ерозирането на мезозойската покривка. По този начин се формират подобни на които в англоезичната антиклинали структури, литература се означават като basement cored uplifts. Вероятно голямата част от описаните в литературата огъвания на скалите от мезозойската покривка са резултат от разломно (навлачно и възседно)свързани деформации. Това се показва и от опитите за балансиране на разрези, част от които са представени от Vangelov et al. (2013).

Съществен проблем при напречното райониране е дефинирането на южната граница на Старопланинската зона. Докато за района на Искърския пролом за такава може да се приеме Видличката дислокация (въпреки липсата на ясни репери и скорошна преоценка на идеите за възрастта на тази структура), то за коментирания район продължението на структурата е спекулативно. За нас няма съмнение, че основните транслации по Кашанската зона са осъществени в до-къснокредно време. Късноалпийската реактивация тук е най-вероятно свързана със силно сегментирани разломи с навлачновъзседен и отседен характер. По този начин, към момента проблемът с южната граница на късноалпийската Старопланинска зона остава нерешен.

Въпросът с надлъжното райониране се нуждае от допълнителни изследвания, но категорично може да се заключи, че нито един от предложените модели не предлага достатъчно аргументи за отделяне в този район на Западнобалканска зона и още по-малко за дефиниране на нейната източна граница. Найсъществените мотиви за това са общата терциерна еволюция и аналогичният строеж.

Изложените тук идеи се базират на анализ на съществуващите данни, собствени наблюдения и тектонски анализ през призмата на съвременните разбирания за строежа на гънково-навлачните пояси. Един нов модел за строежа и еволюцията на тази част от Балканидите може да се мотивира достатъчно категорично след получаване на данни за нискотемпературната термохроноложка еволюция и 3D моделиране на строежа.

Благодарности: Авторите изказват благодарности за конструктивната рецензия на проф. д-р В. Желев.

Литература

- Антонов, М. Бележки за характера на Старопланинската челна ивица между Правешкия пролом ирека Черни Вит. - Изв. Геол. инст., сер. геотект., 20, 1971. - 57-65 с.
- Антонов, М., С. Герджиков, Л. Методиев, В. Вълев, Х. Киселинов, В. Сираков. *Геоложка карта на България* в *М* 1:50 000. *Картен лист Гложене*.С., МОСВ, 2010.
- Ангелов, В., К. Илиев, И. Хайдутов, С. Янев, Р. Димитрова, И. Сапунов, П. Чумаченко, Ц. Цанков, Д. Чунев, И. Русанов. *Геоложка карта на България в М 1:100 000. Картен лист Ботевград* (ред., И. Хайдутов, С. Янев). С., Комитет по геология и минерални ресурси, Геология и геофизика-АД, 1992.
- Ангелов, В., Р. Маринова, В. Гроздев, М. Антонов, Д. Синьовски, Д. Иванова, И. Петров, Л. Методиев, Г. Айданлийски, П. Милованов, А. Попов, В. Вълев. Обяснителна записка към геоложката карта на Република България М 1:50 000. Картен листБотевград.С., МОСВ, Бълг. нац. геол. служба,2010. - 57 с.
- Бончев, С. Геология на Западна Стара планина. II. Главните линии от геологичния строеж (направа) на Западна Стара планина. - *Тр. Бълг. природоизп. д-во*, *4*. 1910. - 1-59.
- Бончев, Е. Опит за тектонска синтеза на Западна България. - *Геология на Балк.*, 2, 1, 1936. - 5-48.
- Бончев, Е. Балканидите геотектонско положение иразвитие. С., БАН, 1986 - 67, 273.
- Дабовски, Х., И. Загорчев. Въведение: Мезозойска еволюция и алпийски строеж. – В: Загорчев, И., Х. Дабовски, Т. Николов, (ред.). Геология на България. Том II. Мезозойска геология. С., Акад. изд. "Проф. Марин Дринов", 2009. - 13-37.

- Иванов, Ж. Тектоника на България. Хабилитационен труд,1998.
- Калайджиев, С. Строеж и рудоконтролиращо значение на някои високорангови възседни нарушения в Западния Балкан. - Списание на Бълг. Геол. д-во, 51, кн.2, 1990.
- Лазарова, А., Я. Герджиков. Структури на деформирани гранитоиди от Златишка Стара планина – индикатори за срязвания в преходната зона между катакластично и пластично течение.- Списание на Бълг. Геол. д-во, 69,2008. - 1-3, 7-20.
- Стоянов, И., Т. Ненов. Бележки върху Старопланинската челна ивица между долините на реките Искър и Бебреш. - Геотект., тектонофиз. и геодинам., 3, 1975. - 70-78.
- Цанков, Ц. *Tun и особености на Балканидните антиклинории.* (автореферат на дисертация). С., БАН-ГИ, 1986 35 с.
- Чешитев, Г., В. Миланова, И. Сапунов, П. Чумаченко. Обяснителна записка на геоложката карта на България в М 1:000 000, к.л. Тетевен.С., ГИ БАН и "Геология и геофизика"-АД, 1995.

- Яранов, Д. *Тектоника на България*. С., Техника, 1960 288 с.
- Burchfiel, B.C., R. Nakov.The multiply deformed foreland fold-thrust belt of the Balkan orogeny, northern Bulgaria. -*Geosphere*, 11, 2015. - 463-490.
- Dabovski.C, I. Boyanov, Kh. Krischev, T.Nikolov, I.Sapunov, Y.Yanev, I.Zagorchev. 2002. Structure and Alpine evolution of Bulgaria. - *Geologica Balcanica*, 33, 2-4, S., 2002. - 9–15.
- Gerdjikov, J., N.Georgiev, Spectacular fabric but little displacement: Early Alpine shear zones from Zlatishka stara planina, Central Balkanides. *80 years Bulgarian Geological Society, Proc. of the Jubilee International Conference*, 2005. - 35-38.
- Vangelov, D., Y.Gerdjikov, A.Kounov., A. Lazarova. The Balkan Fold-Thrust Belt: an overview of the main features. *Geologica Balcanica*, 42, 2013. - 1-3, 29-47p.

Статията е рецензирана от проф. д-р Венелин Желев.

ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА ПОДХОДЯЩИ МЕСТА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА МОНИТОРИНГОВИ КЛАДЕНЦИ В СЛАБОВОДОНОСЕН СКАЛЕН КОМПЛЕКС

Стефан Димовски, Николай Стоянов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. В слабоводоносните скални комплекси подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци са зоните с активен водообмен, които притежават по-голяма водопропускливост и имат преки хидравлични връзки с други водопропропускливи части в подповърхностното пространство. Формират се в силно напукани, тектонски нарушени и вторично променени зони в скалните комлекси, в които празнините са открити или запълнени с поедрокъсов запълнител. Предложеният електротомографски метод се базира на различията в елекросъпротивителните свойства на зоните с активен водообмен и на по-слабопропускливите или непропускливите зони. Възможностите и ефективността от прилагане на метода е илюстрирана с резултатите от проведеното електротомографско проучване за локализиране на подходящи места за изграждане на нови мониторингови кладенци във връзка с разширяване на съществуващата мрежа за радиационен мониторинг на подземното хранилище за радиоактивни отпадъци (ПХРАО) "Нови хан", Софийска област. Представените резултати потвърждават приложимостта на използваната методика на измерване, анализ и интерпретация на данните.

SELECTION OF APPROPRIATE SITES FOR CONSTRUCTIONT OF MONITORING WELLS IN A ROCK COMPLEX CHARACTERIZED BY LOW WATER-BEARING CHARACTERISTICS

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

ABSTRACT. The appropriate sites for construction of monitoring wells in rock complexes characterized by low water-bearing characteristics are zones with active water exchange which have higher permeability and have direct hydraulic links with other water-permeable parts in the sub-surface space. Such zones are formed in heavily cracked, tectonically disturbed, and secondary altered sectors in the rock complexes in which the gaps are open or packed with coarse filler. The proposed electrotomography method is based on the differences in the resisitvity properties of the zones characterized by active water exchange and of the low permeable and impermeable zones. The feasibility and effectiveness of the proposed method is illustrated by the results of the electrotomography study performed in order to locate suitable sites for construction of new monitoring wells in relation to the expansion of the existing network of radiation monitoring of underground repository for radioactive waste (RAW) "Novi han", Sofia region. The presented results confirm the applicability of the applied methodology for measurement, analysis and interpretation of data.

Въведение

В последното десетилетие електротомографските методи намират много широко приложение за решаване на широк кръг геоложки, хидрогеоложки, инженерногеоложки и екологични задачи. Нашият опит показва, че тези методи са много ефективни при картиране на пространствените граници на геоложки формации, хидрогеоложки единици, окарстени и напукани зони; разуплътнени зони и тектонски нарушения, зони с различна водонаситеност и водообилност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачища, археологически обекти и пр. (Димовски и др., 2007, 2012, 2013; Димовски, 2010; Димовски, Стоянов, 2010, 2011; Стоянов, 2003, 2004; Стоянов, Гюров, 2004; Стоянов и др., 2004; Dimovski et al., 2008; Shanov et al., 2009 и др.).

Приложимостта на електротомографията при картиране зони с активен водообмен, формирани в силно напукани, тектонски нарушени и вторично променени участъци в скалните комлекси, ще илюстрираме с резултатите от проведеното проучване на скалния комплекс в района на подземното хранилище за радиоактивни отпадъци (ПХРАО) "Нови хан", Софийска област (Димовски, Стоянов, 2008). Главна цел на това проучване е локализиране на подходящи места за изграждане на нови мониторингови кладенци, във връзка с разширяване на съществуващата мрежа за радиационен мониторинг.

Кратка характеристика на изследвания обект

Изследваният обект се намира на 35 km югоизточно от гр. София и на 4,5 km на юг от с. Нови хан (фиг. 1). Ситуиран е на северния склон на вододелен хребет от средищния дял на Лозенската планина, между рудник Чукурово и с. Нови хан. В рамките на проучваната територия, теренът е със слаб наклон на север (около 10°) и с надморска височина варираща между 890 и 925 m.

В геоложки аспект, проучваният участък е изграден от еднородни по състав филитизирани алевролити и аргилити с палеозойска възраст (ордовик), пресечени от горнокредни гранитоидни дайкови тела с кварцови и пегматитови жили (Кожухаров и др., 2002). В горната част на разреза филитизираните алевролити са много силно изветрели, променени и разложени до чакълеста глина с отделни късове и относително запазени пачки от основната скала. Дебелината на тази изветрителна кора е в границите от 3-4 до 10-11 m. В дълбочина до 15-20 m от терена филитизираните алевролити са изветрели до силно изветрели, дребно блоково напукани, с отделни по-силно изветрели и заглинени зони. Установяват се и зони, в които изветрелите алевролити са прослоени от също изветрели и грусирали гранитоиди и кварцови жили. На поголяма дълбочина в скалния масив, филитизираните алевролити са по-слабо изветрели и средно- до едроблоково напукани. Дайковите тела са субпаралелни на слоистта на палеозойските скали, но се срещат и секущи. Дебелината им варира от 1 до 15-20 m. Контактите им са интрузивни и не се установяват видими контактни изменения във вместващите ги филитизирани алевролити. В горните части на масива гранитоидните дайкови тела са силно изветрели, грусирали и дребно блоково напукани.

По данни на Кожухаров и др. (2002), в проучвания район са установени линейни разломни нарушения. Те са представени от стрити милонитизирани зони, тектонски глини и тектонски брекчи с глинеста спойка, които могат да се разглеждат като естествена бариера за движението на флуиди, респ. за миграцията на различни компоненти.

Подземните води, формирани в палеозойския скален комплекс, по тип са пукнатинни и безнапорни по характер. Водните нива са установени на дълбочина от 10-12 m до 15-18 m от терена, като малките дълбочини са характерни за понижените части на релефа.

Цели на проучването

Главни цели на проведеното проучване са:

- детайлизиране на геоложкия разрез до дълбочина 45 m;
- очертаване на пространствените граници на нарушени (разуплътнени) зони в скалния масив;
- картиране на зони с различна проницаемост и различна степен на водонаситеност;
- локализиране на подходящи места за изграждане на два нови наблюдателни пункта (сондажни кладенци), с които да се разшири съществуващата мрежа за радиационен мониторинг на ПХРАО "Нови хан".

Методика и инструменти на изследване

Използваният при проучването електротомографски метод е подходящ за двумерно картиране на приповърхностния разрез във вертикални разрези по профили. Теренните измервания са изпълнени посредством голям брой свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths et al., 1990). Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 В, производство на шведската фирма ABEM.

Теренните измервания са изпълнени по шест профила с обща дължина 1785 m. Три от профилите (1, 2 и 6) са с дължини по 237,5 m, а другите три профила (3, 4 и 5) са с дължини по 357,5 m. Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 10 m (общо 24 електрода на разстановка). След измерване на всяка разстановка, по шестте профила се извършва стъпковото преместване ("приплъзване") на кабела със стъпка 2,5 m. За профили 3, 4 и 5 приплъзването се повтаря с допълнителна стъпка 120 m. Точното местоположение на шестте профила с разположението на електродите по всеки един от тях е представено на фигури 2 и 3.



Фиг. 1. Местоположение на проучвания участък



Фиг. 2. Разположение на геофизичните профили

При обработката на полевите данни е използвана компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава разрез на реалното разпределение на електричните съпротивления в подповърхностното пространство. Преходът от геоелектричен разрез в геоложки, инженерногеоложки или хидрогеоложки модел се прави, като при последващата интерпретация на получените с програмата геоелектрична картина се корелира с: (1) обща информация за конкретните геолого-тектонски и хидрогеоложки условия в района (Кожухаров и др., 2002 и др.); (2) литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Daniels, Alberty, 1966; Keller, Frischknecht, 1966; Стоянов, 2004 и др.); (3) данни от проучвателно сондиране (Кожухаров и др., 2002; и др.).



Фиг. 3. Схема с разположението на електродите.

Анализ на геоелектричните разрези. Геоложка и хидрогеоложка интерпретация

Полученото с програма RES2DINV разпределение на действителните съпротивления в разрезите по шестте профила, са представени на фигури 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Комплексният анализ на геоелектричните разрези, при отчитане на конкретните природни и техногенни условия, дава основание да се направят констатации за геоложкия строеж на подповърхностното пространство, за наличието на разуплътнени зони и на зони с различна водообилност.

Електричното съпротивление на разновидностите (средите), които изграждат изследваната част на приповърхностния разрез варира в относително широки граници – от 50 Ω m до 1000 Ω m и повече. Установеният геоелектричен разрез се представя от четири основни електросъпротивителни среди, картиращи зони с различен литоложки състав и/или различен генезис, различна степен на водонасищане и водообилност.

<u>Първата електросъпротивителна среда (Зона A)</u> се характеризира с най-високи стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в диапазона от 400 Ωm до 1000 Ωm и повече. Вероятно тази зона маркира границите на най-силно изветрялата и много суха приповърхностна част на скалния масив. Тук филитизираните алевролити са силно променени и разложени до чакълеста глина с отделни по-едри скални късове и относително запазени пачки от основната скала.

Втората електросъпротивителна среда (Зона В) има по-ниски, вариращи в сравнително по-тесни граници стойности на електричното съпротивление – от 200 Ωm до 400 Ωm. Най-вероятно, зона В картира тези части от масива, в които изветрителните процеси са по-слабо

изявени, филитизираните алевролити са дребно- до едроблоково напукани. В обхвата на тази зона попадат и по-дълбоките части от линейните разломни нарушения, представени от тектонски брекчи с глинест запълнител. Ще отбележим, че в дълбочина блоково напуканите алевролити и тектонските брекчи са водонаситени и имат много близки и преобладаващо ниски електрични съпротивления. За съжаление, поради голямата литоложка нееднородност в масива и вследствие наличието на посилно и по-слабо заглинени участъци в разрезите по всички профили е трудно еднозначното определяне на електрична граница, която точно да детерминира границата между неводонаситената и водонаситената зона, т.е. нивото на подземните води в скалния масив. Все пак, в границите на зона В са налице много отчетливи индикации (градиентни преходи), които дават основание да се приеме, че водното ниво в масива е на дълбочина от 10 m до 17-18 m от терена. В случая, дълбочината на залягане на "водното огледало" намалява в посоката на понижаване на релефа.

<u>Третата електросъпротивителна среда (Зона C)</u> се характеризира с още по-ниски стойности на електричното съпротивление, които варират в един по-тесен диапазон от 100 Ω m до 200 Ω m. Анализът на наличната информация за геоложкия строеж, тектонските особености и резултатите от проучвателното сондиране (Кожухаров и др., 2002), както и спецификата на пространствените граници на третата електросъпротивителна среда дават основание в нея да се отделят две подзони:

- <u>Подзона С1.</u> най-вероятно, маркира пространственото положение на приповърхностните части на линейните разломни нарушения (милонитизирани зони), запълнени с водонаситени тектонски глини.
- <u>Подзона C2</u> очертава границите на разуплътнена зона в скалния масив, която вероятно се е формирала като ореол около теменната част на дайково гранитоидно тяло, в резултат на проявените напрежения при неговото проникване във филитизираните алевролити. В тази зона алевролитите са дребно- до средноблоково напукани и прослоени от изветрели и променени гранитоидни и кварцови жили..

<u>Четвъртата електросъпротивителна среда (Зона D)</u> има най-ниски стойности на електричното съпротивление за изследвания геоелектричен разрез – в диапазона от около 50 Ωm до 100 Ωm. Най-вероятно, тази зона маркира теменната част на дайково гранитоидно тяло с относително по-големи размери. Тази част е напукана и силно изветряла (до грусирала), което я прави възможно най-проницаемата и вероятно най-водообилната зона в скалния масив. Този факт обяснява и регистрираните твърде ниски електрични съпротивления (под 100 Ωm).

В хидрогеоложки аспект, по качествени белези и с известна условност в палеозойския скален масив се отделят четири зони с различна проницаемост и различна степен на водонаситеност. Границите на тези зони се привързват към детерминираните електросъпротивителни среди по следния начин:



Фиг. 4. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 1



Фиг. 5. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 2



Фиг. 6. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 3



Фиг. 7. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 4



Фиг. 8. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 5



Фиг.9. Разпределение на електричното съпротивление в разреза по Профил 6

- <u>Проницаема водонаситена зона</u> покрива обхвата на четвъртата електросъпротивителна среда (зона D);
- <u>Проницаема ненаситена (суха) зона</u> заема найгорната приповърхностна част на разреза – зона А;
- Спабо проницаема водонаситена зона попада в границите на подзона С2 и заема ограничени части от зона В (приконтактните напукани зони и по-дълбоко залягащите части на линейните разломни нарушения);
- Много слабо проницаема, с различна степен на водонасищане зона – обхваща по-голямата част от скалния масив – зона В и подзона С1.

За по-добро визуализиране на пространственото положение на разуплътнените, по-проницаеми и водонаситени части в палеозойския скален масив са съставени две карти, на представени хоризонталните проекции на зона D, подзона C1 и подзона C2. Разпространение на зона D и подзона C2 е представено на фигура 10, а на подзона C1 – на фигура 11.



Фиг. 10. Площно разпространение на зона D и подзона C2



Фиг. 11. Площно разпространение на подзона С1.

Оптимално местоположение и дълбочина на мониторинговите сондажни кладенци

Въз основа на подробен анализ на събраната информация за геолого-тектонските, хидрогеоложките и технологичните условия и на получените резултати от електротомографското проучване в района на ПХРАО "Нови хан" са конкретизирани следните места за изграждане на два нови мониторингови кладенеца:

Първият кладенец (К-1) трябва да бъде разположен североизточно от хранилищните камери с течни и твърди радиоактивни отпадъци (РАО), в обхвата на *подзона С1*. Мотивите за това са следните:

- Генералната посока на подземния поток в района на хранилището е на С-СИ. Това предполага, че при евентуално протичане на радионуклиди извън хранилищните камери, макар и много бавно (поради ниската проницаемост на масива) по конвективен път, те ще мигрират заедно с подземните води на С-СИ.
- Подзона С1 маркира линейна разуплътнена зона (разломно нарушение) във филитизираните алевролити с направление югозапад-североизток. В приконтактните напукани участъци и по-дълбоко залягащите части на тази разуплътнена зона може да се очаква по-висока проницаемост на филтрационната среда.
- Превантивният контрол при радиационния мониторинг е по-ефективен при разполагане на наблюдателния пункт в непосредствена близост до потенциалния източник на замърсяване (в случая на около 50-60 m от хранилищните камери).

Вторият кладенец (К-2) е необходимо да се изгради в обхвата на зона D, на CИ от хранилищата на течни и твърди РАО. Изборът на неговото местоположение е продиктуван от следните мотиви:

- В района на разглеждания обект вероятно найпроницаемата и най- водообилна част в скалния масив е зона D. Тя оконтурва теменната грусирала част на гранитоидно дайково тяло с относително големи размери. Естествено е да се очаква, че скоростта на подземния поток и възможностите за миграция на радионуклиди в тази част на масива е много голяма.
- По-високата проницаемост в зона D предполага, че тя дренира разположените на по-висока кота по-слабо проницаемите части от масива. Това създава условия за локално изкривяване на квази-едномерна структура на подземния поток с генерална посока на СИ. В резултат, част от потока преминаващ в обсега на хранилищните камери, ще се отклони на С-СЗ. Следователно при евентуално изтичане на радионуклиди извън хранилищните камери, част от тях ще мигрират и в посока С-СЗ.

Определените като подходящи места за изграждане на двата нови мониторингови кладенеца, са представени на фигура 12 посредством кръгове с диаметър 10 m. Оптималната дълбочина на новите кладенци е около 45-50 m. Основната предпоставка за това, са конкретните хидрогеоложки условия в определените места за тяхното изграждане: (1) дълбочина на подземните води – около 15-
20 m под земната повърхност; (2) пространствено положение на линейната разуплътнена структура (*подзона C1*), в чийто обхват ще бъде изграден К-1; (3) дълбочина на залягане на *зона D*, в която ще се разположи водоприемната част на К-2.



Фиг. 12. Местоположение на локализираните подходящи места за изграждане на мониторинговите сондажни кладенци.

Заключение

Представените резултати от проведеното проучване и ефективното действие на вече изградените наблюдателни кладенци, са убедителна демонстрация за големите възможности и приложимостта на електротомографския метод за локализиране на подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци в слабоводоносни скални комплекси. Предложеният подход е сравнително евтин, достатъчно точен и много подходящ за успешното решаване на подобни често срещани в хидрогеоложката практика задачи.

Литература

- Геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Ихтиман. София, КГМР. 1990.
- Димовски, С. Електротомографски изследвания на геоложката среда. Дисерт., С., МГУ "Св. Иван Рилски", 2010. - 387 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 2007. - 47-55.
- Димовски, С., Н. Стоянов. *Геоелектрично 2D проучване на територията на обект СП ПХРАО "Нови хан"*. Фонд на СП РАО, 2008. 17 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. Приложение на геоелектрични проучвания при изучаване на хидрогеоложките условия в карстови райони. – 6-та Национална конференция по геофизика "20 години Дружество на геофизиците в България", София, 2010. - 4 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. Геоелектричен подход при изучаване на хидрогеоложките условия в района на

ДБО Асеновград. – Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т.54, св. I, Геол. геоф., 2011. - 125-130.

- Димовски, Ст., Н. Стоянов, Хр. Цанков, Ат. Кисьов. Електротомографски изследвания в района на Зографския манастир в Света гора, Атон. – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.55, св. I, Геол. геоф., 2012. - 96-101.
- Димовски, Ст., Н. Стоянов, Ат. Кисьов. Приложение на електротомографията за картиране на суфозионни зони. – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", 55, I., 2013. - 96-101.
- Кацаков, Н., К. Илиев. Обяснителна записка към геоложка карта на България в мащаб 1:100 000, к.л. Ихтиман, ГИ БАН, Геология и геофизика АД, С., 1993. - 63 с.
- Кожухаров, Д., Р. Димитрова, Н. Кацков. Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000 - картен лист Пазарджик. С., КГМР, 1992. - 54 с.
- Кожухаров, Д. и др. Геоложко, хидрогеоложко и инженерногеоложко проучване за постоянно хранилище за РАО – Нови хан. Отчет по дог. 02-ПХРАО / 2002, ГИ на БАН и Геокомплекс ООД, София. 2002.
- Стоянов, Н. Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депа за твърди битови отпадъци. Дисерт., С., МГУ "Св. Иван Рилски", 2003. -215 с.
- Стоянов, Н. Метод за дефиниране на локални геоелектрични критерии за оценка на замърсяването на подземните води. – BULAQUA (БУЛАКВА), 2004. - 4.
- Стоянов, Н., Ч. Гюров. Оценка на замърсяването на подземните води по метода на 2D електросъпротивително проучване по схемата полюс-дипол – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", 47, I, 2004. - 219-224.
- Стоянов, Н., Ст. Стойнев, Ч. Гюров. Детайлизиране на инженерно-геоложките и хидрогеоложките условия посредством геоелектрични модели *Сп. "Геол. и минер. рес.", 10,* 2004. 8-12.
- Daniels F., R. A. Alberty. 1966. *Physical chemistry*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dimovski, S., N. Stoyanov, S. Kostyanev. Application of electrical resistivity techniques for investigation of landslides. – Proceedings of the First International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region, EARSeL, Zadar, Croatia, 2008. -241-251.
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *Journal of Applied Geophysics*, 29, 1993. - 211-226.
- Keller G.V., F.C. Frischknecht. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press Inc., Oxford. 1966.
- Loke, M. H. A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Geoelectrical Imaging 2-D & 3D. Geotomo Software. Penang, Malaysia. 2001.
- Shanov S., Mitev A., Benderev A., Kostov K., Mihailova B. Electrical survey for detailed characterizing of underground karst: Example from Iskar River (Western Bulgaria). 5th Congress of Balkan Geophysical Society – Belgrade, Serbia, Geophiscs the cross road. EAGE, 10 – 16 May 2009, 2009. ISBN978-9073781-66-5 (on CD).

Статията е рецензирана от проф. д-р Алексей Бендерев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ГРАВИМЕТРИЧНИ СИСТЕМИ ИЗПОЛЗВАНИ В РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТТА НА СИСТЕМИ IGSN-71 И UNIGRACE ПРИ ТОЧКИ ОТ ГРАВИМЕТРИЧНИТЕ И МРЕЖИ

Ради Радичев¹, Емил Михайлов², Християн Цанков¹, Атанас Кисьов¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, radirad@mgu.bg

² Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, 1113 София; emil_mih@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Представени са гравиметричните системи, използвани в България за геодезични и геофизични цели. Извършена е оценка върху точността на д на гравиметрични точки в системите IGSN-71 и UNIGRACE при Първоредната гравиметрична мрежа и при Еталонната гравиметрична мрежа на Република България. Получени са изменения на g, с които са коригирани всички гравиметрични точки за Геофизични цели, на брой 228 944. Показано е предложение за нова международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции (ISFAGS).

Ключови думи: гравиметричните системи, първоредна гравиметрична мрежа, еталонна гравиметрична мрежа.

GRAVIMETRIC SYSTEMS USED IN REPUBLIC OF BULGARIA AND EVALUATION OF THE ACCURACY OF IGSN-71 AND UNIGRACE SYSTEMS OF POINTS OF GRAVIMETRIC NETWORKS

Radi Radichev1, Emil Mihaylov2, Chistian Tzankov1, Atanas Kisiov1,

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; radirad@mgu.bg

² National Institute for Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; emil_mih@abv.bg

ABSTRACT: Gravimetrical systems used for geodesic and geophysical purposes in Bulgaria are presented. An evaluation of the accuracy of strength of the weight g of gravimetrical points in IGSN-71 and UNIGRACE systems of First-row gravimetric network and the Standard gravimetrical network of Republic of Bulgaria. All 228 994 gravimetric points for Geophysical purposes are corrected with the apparent alterations of g. A suggestion for a new international system of fundamental absolute gravimetric stations (ISFAGS) is presented.

Key words: Gravimetrical systems, First-row gravimetric network, Standard gravimetrical network.

Въведение

Световната опорна гравиметрична мрежа е необходима за обединяване в единство на изходните абсолютни национални значения на мрежите и мащаба на относителните определения на силата на тежестта. За привеждане на относителните измервания в абсолютна система е възможно същите да се прикачат към една абсолютно определена точка. А. За да се определи мащабът им са необходими високоточни абсолютни определения в няколко точки. До 1909 година всички гравиметрични измервания по целия свят се изразяват във Виенска система. През 1900 година на XIII конференция на МАГ в Париж е било решено да се считат значенията на силата на тежестта във Виена, като изходни за всички гравиметрични работи. Точността на изходните значения се оценява с грешка от 10 mGal. През 1909 г., на XVI международна геодезическа конференция е била приета Потсдамската гравиметрична система, с определено абсолютно "g" в Потсдамския геодезически институт.

Точността на определянето е с грешка 3 mGal (Огородова и др., 1978). За преход от Виенска система в Потсдамска, значението на "g" е необходимо да се намали с 16 mGal. Приетата Потсдамската гравиметрична система е просъществувала до 1971 г. На XIV Генерална асамблея на Международната асоциация по геодезия през 1967 г. е препоръчана поправка -14 mGal към Потсдамската система, понеже е установено, че тя е завишена с 14 mGal, от многобройни измервания с гравиметри, махални и абсолютни прибори при връзка с Потсдам (Огородова и др., 1978). Въз основата на многобройните гравиметрични измервания, извършени по цялото земно кълбо, е създадена световна гравиметрична опорна мрежа и същата е препоръчана на XV Генерална асамблея на Международния геофизически и геодезически съюз, състоял се в Москва през 1971 година, получила название IGSN-71. Ускорението на силата на тежестта във всяка точка на тази световна гравиметрична мрежа е определено с грешка по-малка от 0,2 mGal.

Гравиметрични системи в Република България и оценка точността на система IGSN-71 върху точките от опорните гравиметрични мрежи

В края на 1940г. и началото на 1941г. в България започват системни гравиметрични изследвания на силата на тежестта. Те се извършват с четримахален апарат от астрономическото отделение на Военния географски институт под ръководството на В. Христов и И. Петков. Те създават и основната гравиметрична станция в България в Агрономичния факултет на СУ. Снабдена е с махален апарат от гравиметрична фирма "Аскания" с автоматична регистрация на люлеенето на махалата. Апаратът е предназначен за релативни измервания на силата на тежестта с точност ± 1 mGal. Създена е и първата основна гравиметрична мрежа в България с махален апарат, обхващаща Западна и Северна България с 20 измервателни пункна. С високоточни махални многократни измервания между основната гравиметрична станция и Витоша /Драгалевски манастир/ е осъществена отсечка за еталониране на статични гравиметри (Димитров, Петков, 1990, Михайлов, Радичев, 2011). Махалните гравиметрични измервания са извършени за нуждите на висшата геодезия и са послужили за основа на по-следващите гравиметрични проучвания. Във връзка със съставянето на гравиметрична карта в мащаб 1: 200 000 е била положена опорна гравиметрична мрежа /първоредна/ с високоточен гравиметър GS-11- Аскания, доставен през 1957г. (Михайлов, Радичев., 2011, Петков, Георгиев, 1977). Спрямо тази мрежа са отнесени всички данни от използваните гравиметрични снимки в мащаб 1:100 000. При съпоставянето на тези снимки с гравиметричните на другите европейски социалистически страни през 1958-1959 г. е извършено първото определяне на абсолютната стойност на силата на тежестта чрез махална гравиметрична връзка на София с абсолютната точка в Потсдам в Потсдамска система. По-късно международна гравиметрична експедиция е извършила гравиметрична връзка между столиците на социалистическите страни под ръководството на Ю.Д. Буланже /СССР/ също в Потсдамска система (Димитров, Петков, 1990, Михайлов, Радичев, 2011). Геофизиците приемат за базисна /нулева/ гравиметрична точка Балчик (Живков, 1964), като е направена връзка летище Варна с Балчик, равна на +1,75 mGal. В миналото всички гравиметрични обекти в България са прикачени към тази точка с изключение на района около София. В таблица 1 са дадени каталожни и измерени стойности на "g" и "Δg" на гравиметрични точки в България и връзката на летище София с Букурещ, съгласно Димитров, Петков (1990); Живков (1964); Трегер (1974). Първоредната гравиметрична мрежа на България е изравнена съвместно с гравиметрична точка в Букурещ, като са взети стойностите на София и Букурещ за база (Трегер, 1974). От връзките София-Букурещ дадени в таблица 1, се вижда, че разликата между системите 1958 и 1974 години е +0,78 mGal. Общи гравиметрични точки между Първоредната гравиметрична мрежа от 1958 година и Еталонната гравиметрична мрежа са на Монтана, Варна, Бургас, София, Г.Оряховица, Ст.Загора и Пловдив, като някои от тях са унищожени в момента (Милев и др., 2013). От направените връзки между двете мрежи се получава средна разлика в системите IGSN-71 на ЕГМ спрямо Първоредната мрежа от порядъка на +0,74 mGal, което е около точността на разликата в системите на връзката София-Букурещ, която казахме, че е +0,78 mGal. През 1974 година гравиметричната точка от летище София е пренесена в кв. Павлово в сградата на АГКК, бившата сграда на ГУГК. Стойността й през 1974 г. е равна на 980240,667 mGal в система IGSN-71 (Трегер, 1977). На същата точка /станция/ са извършени махални и абсолютни гравиметрични измервания през различни години с различни гравиметри (Милев и др., 2005). Резултатите от тези измервания са дадени в таблица 2. Извършените многогодишни абсолютни и махални измервания на гравиметричната станция в сградата на Агенцията по Кадастър, може да послужат за контрол на система IGSN-71, чрез абсолютни и махални измервания. Една част от тези измервания са и във връзка с Европейската гравиметрична система UNIGRACE /система на абсолютните измервания/ (Милев и др., 2005). Изменението на системата на геофизиците, приведена от Потсдамска в IGSN-71 от 1958 г. спрямо абсолютните гравиметрични измервания по проекта UNIGRACE е +0.700 mGal. тъй като разликата между UNIGRACE и IGSN-71 е -0,081 mGal, като средна стойност за страната получена от абсолютните точки в София и Варна (Милев и др., 2005). На фигура 4 са дадени основните абсолютни гравиметрични станции София и Варна (UNIFIED 2008). Освен тях има извършени еднократни абсолютни гравиметрични измервания и в Белоградчик, Сандански, Горна Оряховица, обсерватория Рожен, две станции в района на София, обсерватория Плана и в Института по метрология. Така че. броят на абсолютно измерените станции в България става 8. Еталонната гравиметрична мрежа на България е изчислена първоначално при "q" на станцията 00036 в Агенцията по Кадастър, и стойността на силата на тежестта е равна на 980240,660 mGal. Тази стойност се различава от приетото за «меродавно» "g" равно на 980240,584 mGal, измерено от австрийски специалисти с разлика от 0,076 mGal, която разлика е около точността на статичните гравиметри, с които е измерена. Еталонната гравиметрична мрежа (Милев и др., 2013). Средната квадратна грешка за "g" на цялата Еталонна мрежа е ± 0,120 mGal. Към нея е прикачена и частично преизмерената, преизчислена и преизравнена опорна гравиметрична мрежа основен, първи и втори клас на Република България, която е също в системата на абсолютните станции /точки/. Средната квадратна грешка за "g" на тази мрежа е до ±0,260 mGal, получена от контролни гравиметрични измервония. Общо тези две мрежи бяха наречени Национална гравиметрична мрежа на Република България (НГМРБ) (Милев и др., 2013). Същите мрежи са дадени на МГУ «Иван Рилски», за да направи геоид.

Сравнение на извършените до сега махални и абсолютни определения на силата на тежестта в гравиметрична станция 00036 в сградата на АГКК в гр. София и на същите определения в гравиметрична станция 00015А в сградата на Астрономичната обсерватория "Николай Коперник"гр. Варна

Таблица 1.	
Каталожни и измерени стойности на "	"g" и "∆g" на гравиметрични точки в България

Грав. точка	Потсдам "g"-1958 г.	IGSÑ-71 "g"-1958 г.	∆g 1958,1968,1974г.	∆g 1958,1968,1974г.	Разлики
Летище София	980260,60 mGal	980246,60 mGal			Разлика от "g" на Лет.София 1968- 1958г. +0,95 mGal
Летище Варна	980473,72 mGal	980459,72 mGal	"∆g" _{изм.} мрежа София-Варна 1958 г. +213,12 mGal	"∆g" _{изм.} от "Буланже" София-Варна 1968 г. +213,13 mGal	
Балчик	980475,47 mGal	980461,47 mGal	"∆g" _{изм.} София-Балчик 1958 г. +214,87 mGal		
Летище София	"g"-1968 г. 980261,55 mGal	"g"-1968 г. 980247,55 mGal			
Букурещ	"g"-1958 г. 980543,55 mGal	"g"-1958 г. 980529,55 mGal			
Букурещ	"g"-1968 г. 980543,87 mGal	"g"- 1968 г. 980529,87 mGal	"∆g" _{изм.} София-Букурещ 1958 г. +282,32 mGal		Разлика от "g" на Букурещ 1968-1958г. +0,32 mGal
Букурещ	"g"-1974 г. 980543,86 mGal	"g"-1974 г. 980529,86 mGal			
Летище София	"g"-1974 г. 980261,54 mGal	"g"-1974 г. 980247,54 mGal	"∆g" _{изм.} София-Букурещ 1974 г. +283,10 mGal		Разлика между "∆g" _{изм.} на отсечка София- Букурещ 1974-1958г. +0,78 mGal

Принцип на действие на махалния отнасителен метод

През годините 1968 и 1984 са извършени махални относителни връзки между гравиметрична станция 00036 ГУГК (АГКК) с гравиметрични станции Потсдам и Лёдово (Москва), дадени в Таблица 2. А през 1984 година беше извършена махална относителна връзка от абсолютната точка във Варна до Одеса с махални гравиметри «Ахат», дадена в Таблица 3. Махалният относителен метод се основава на наблюденията колебанието на едно и също махало с неизменна приведена дължина в различни точки. По измерените на всяка точка периоди на колебание се извежда отношение (или разлика) в ускоренията на силата на тежестта на тези точки.

Принцип на действие на абсолютните гравиметри

Измерването на гравитационното ускорение става на принципа на интерферометрично определяне ускорението на свободно падане на оптическа ъглова призма. Във вакумирана камера свободно пада оптически ъглов отражател. Преместването на падащия ъглов оптически отражател се измерва с лазерен интерферометър. Референтният ъглов отражател на интерферометъра е прикачен в центъра на люлеене на нискочестотен сеизмограф за намаляване влиянието на резултатите от измерените вибрационни и сеизмични фактори в точката на поставяне на гравиметъра. Модулацията на яркостта на интерфериращите лъчи в резултат на движение на ъгловия отражател се преобразува от фотоприемника в

електрически сигнал, периодът на изменението, на който съответствува на преместването на ъгловия отражател на половин дължина на вълната от лазерното излъчване. Или изминатият от падащото тяло път се изразява чрез дължина на вълната на лазерното излъчване. За задаване на мярката на интервалите от време се използува прецизен часовник. Сигналите от фотоприемника и прецизния часовник постъпват на електронно-снимачен блок, на който се възпроизвеждат измерените интервали на пътя и времето. Резултатите от измерванията се въвеждат в паметта на микро ЕИМ, изчисляваща значението на ускорението на силата на тежеста и осъществяваща статистическа обработка на резултатите от повторни измервания. Благодарение на бързодействащата електронно-сметачна машина за времето на едно пускане на ъгловия отражател се правят до 300 отчета на интервалите на пътя и времето на свободно падане на ъгловия отражател.

Сравнение на извършените до сега абсолютни и относителни определения в София и Варна

На гравиметричната точка намираща се в сградата на Централния кадастър са извършени махални връзки с Потсдам през годините 1968 и 1974 и абсолютни измервания на земното ускорение през годините 1981, 1983, 1986, 1999 и 2001. През годините 1981, 1983 и 1986 са извършени с руския гравиметър ГАБЛ от руски специалисти, а през 1999г. от австрийци с абсолютен гра-

Таблица 2.

Година	g [mGal]	Условия на измерване	δg [mGal] Влияние на различни фактори	Ефект на котлована сграда [mGal]	Прибори
1968	980240,702	Обикновени условия	-	-	махален с Потсдам
1977	980240.673	Обикновени условия	Земетресение във Вранча и Велинград	-	Гравиметри ГАГ-2 и Шарп с Потсдам
1981	980240.734	Обикновени условия	Влияние на земетресението от Своге през 1980 г	-	Абсолютен ГАБЛ
1983	980240.663	Котлована за строеж на сграда на Кадастър	δg (83-81г.) = - 0,071 Земетресение в София	-0,010	Абсолютен ГАБЛ
1986	980240.634	Построена сграда на Кадастъра	δg(86-81г.) = - 0,100 Земетресение в Стражица и Попово	-0,032	Абсолютен ГАБЛ
1999	980240.584	Построена сграда на Кадастъра. Измерване на репера на станцията	δg(99-81г.) = - 0,150	-0,032	Абсолютен JILA 6(FF)
2001	980240.786	Вход на Кадастъра- унищожена външна точка /връзка/	-	-	La Cost & Romberg
2013	980240.895	Вход на Кадастъра- нова външна точка /връзка/	-	-	ГАК-7Т № 524
1984	980240,737	Построена сграда на Кадастъра. Измерване на репера на станцията	δg(84-81г.) = + 0,003	-0,032	"Ахат" връзка с Лёдово
2001	980240,642	Построена сграда на Кадастъра. Измерване на репера на станцията	δg(01-81г.) = - 0,092 Земетресение в Ямбол	-0,032	Абсолютен ZZG

Таблица 3.

Година	g [mGal]	Условия на измерване	δg [mGal] Влияние на различни фактори	Прибори
1981	980470,851	Стара обсерватория	-	Абсолютен гравимегър ГАБЛ
1984	980470,832	Стара обсерватория	Δg(84-81) = - 0,019	Гравиметри"Ахат" Варна-Одеса
1999	980470,768	Преустроена обсерватория с допълнителни сгради	δg(99-81г.) = - 0.083	Абсолюнен гравиметър JILA
2004	980470,749	Преустроена обсерватория с допълнителни сгради	Земетресение западно от Троян бg(04-81г.) = - 0.102	Абсолютен гравиметър ZZG

виметър JILAg-b(FF)/BEV и по-късно през 2001г. от поляци с полски абсолютен гравиметър ZZG. В таблица 2, както подчертахме, са дадени стойностите на "g" на гравиметричната станция /точка/, в Агенцията по Кадастъра, получени, както от абсолютни гравиметрични измервания през различни години, така и от относителни връзки с Потсдам и Лёдово. Показано е и влиянието на различни фактори, като котлована, строяща се сграда и построена сграда върху резултатите на "q" на точката. В таблица 3, са дадени стойностите на "q" в гравиме-трична станция Варна, получени от абсолютни измервания през годините 1981, 1999 и 2004. През 1981г. измерва-нията се извършиха с руския абсолютен гравимегър ГАБЛ, а през 1999 и 2004 години от австрийски специалисти с абсолютен гравиметър JILA. В Приложението е показано и влиянието на ремонтираните и допостроени сгради в Астрономичната обсерватория "Николай Коперник" - гр. Варна. Фигура 1 е схема на световната гравиметрична мрежа IGSN-71.



Фиг. 1. Световна гравиметрична мрежа - система IGSN-71

Предложение за нова Международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции (ISFAGS)

До април 2013г. в света има 42 абсолютни гравиметъра, 702 гравиметрични точки и 2471 абсолютни измервания. Прави се предложение за замяна на IGSN-71 с нова система, понеже IGSN-71 не отговаря на съвременните изисквания за точност на геодезията и метрологията. Необходимо е обновяване със съвременни модели и стандарти /приливи, влияния на атмосферата и др./. Със създаването на абсолютните балистични гравиметри се позволява да се получат първичните еталони в гравиметрията, реализираши първичния метод на възпроизвеждане на силата на тежестта в гравиметрията. Абсолютните гравиметри могат да реализират нова международна опорна система в гравиметрията. Новите възможности на абсолютните измервания, свързани с увеличаване броя на абсолютните гравиметри и повишаване точността им на измерване, а също и разпространението на криогенните гравиметри, откриват нови възможности при построяването на глобални системи от абсолютни точки. Изместването на нулата /дрейф/ на криогенния гравиметър е 1-3 микрогала на година и има предсказуем характер (Global systems). При новата гравиметрична система ISFAGS, грешката от определяне на точките да не бъде повече от 10 микрогала. Абсолютни

опорни гравиметрични точки по земното кълбо са дадени на карта (фиг. 2)., Получени са в резултат на анализ, извършен през 2011г. от Работна Група по Абсолютна Гравиметрия и участието й в Глобалния Геодинамичен Проект за определяне възможностите на развитие на новата система *ISFAGS* /*Международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции*.



Фиг. 2. Международна система от фундаментални абсолютни гравиметрични станции (ISFAGS)



Фиг. 3. Гравиметрична базисна мрежа на Европа - 2000

Връзка на гравитационното поле и сеизмическата активност за България

Възможно най-големи изменения на измерено "g" с абсолютни гравиметри се предполага, че се дължат на възможно преместване на ядрото на земята относно нейната кора. Някой изследователи (Огаджанов,1998, Юркевич, 1984) казват, че вариациите на силата на тежестта се предизвикват от процеси, изменящи скоростта на въртене на земята. Сезонните колебания на световния океан могат да предизвикат изместване на центъра на тежестта на земята и да доведат до изменение на земното ускорение. Атмосферните маси също ще предизвикат изменение на силата на тежестта, както и подпочвените и грунтовите води. Известно е, че бавните движения на земната кора се явяват предвестници на силни земетресения. Има много случаи на забелязани деформации преди силни земетресения. Тези явления произтичат от много причини, но при всички случаи действа основният закон – зависимост на деформациите и земетресенията от напреженията. Бавните движения на повърхностите на Земята, явяващи се резултат от деформации на земната кора, вследствие нарастването на вътрешните напрежения, които достигат критичните значения и предизвикват земетресения. Земетресението е дискретно проявяване на напрегнатото състояние на земната кора или горната мантия (Юркевич, 1984). В Република България, както подчертахме, има 8 станции наблюдавани с абсолютни гравиметри, като 3 са в района на София, а другите са в Белоградчик, Сандански, Рожен, Горна Оряховица и Варна. На същите, ако се извършват гравиметрични измервания с абсолютни гравиметри през 5 години, може да се проследи връзката между гравитационното поле и сеизмическата активност за България. От таблица 2 и таблица 3 се вижда и възможното влияние на станалите земетресения върху стойностите на измерените "g" в София и Варна.



Фиг. 4. Карта с покритието на България с гравиметрична снимка за геофизични цели по Милев и др. (2013)

Заключение

От 1909 до 1971 г., гравиметричните измервания са в Потсдамска система с извършени абсолютни измервания в Потсдам с махален апарат с грешка 3 (Crossley et al., 2013), която е оказала влияние и върху мрежите на различните страни. Също така, първоначално световната система IGSN-71 се е базирала на 10 абсолютни махални определения в 8 гравиметрични точки с грешка от определяне 1 *mGal* (Crossley et al., 2013). Тази грешка също оказва влияние при връзките на гравиметричните мрежи с Потсдам и това се вижда между системите 1958 и 1968 години, като за България тя е от порядъка на + 0,95 *mGal.* Около 70^{те} години на 20ти век IGSN-71 е била разширена с 471 точки и 24000 връзки, измерени с относителни гравиметри и с 1200 абсолютни измервания с махални

гравиметри. Грешката от определяне на точка е 0,1 mGal (Crossley et al., 2013). Затова и разликата между системи 1968 и 1974 години е по-малка от 0,1 mGal. Летище София по каталог през 1968 година е 980247,57 mGal, а през 1974 то е 980247,54 mGal или имаме разлика от 0,03 mGal. Тази точка в миналото е била основна за нашите гравиметрични мрежи. Всички подробни гравиметрични точки от снимките на геофизиците на брой 228 944, заедно с точките от работните им гравиметрични мрежи са приведени в система IGSN-71 с поправка +0.780 mGal. определена от връзките между София и Букуреш. Също така, от направените връзки между мрежите ЕГМ спрямо Първоредната мрежа се получава средна разлика в системите IGSN-71 от порядъка на +0,740 mGal, както подчертахме по горе. Гравиметричните точки на геофизиците са приведени и към абсолютните гравиметрични измервания извършени по Европейската система UNIGRACE с поправка + 0,700 mGal, заради изместване на нулите на системите и грешките от измерване на гравиметричните мрежи. Общият брой на точките в страната, включващи и гравиметричните мрежи и прецизни полигони приведени в системите IGSN-71 и UNIGRACE. е 229 452. Фигура 4 е карта с покритието на България с гравиметрична снимка за геофизични цели (Милев и др., 2013). При извършването на повторни абсолютни гравиметрични измервания в 8^{те} точки е възможен мориторинг на вариациите на гравитационното поле. С помощта на абсолютните гравиметри в комбинация с криогенни гравиметри, при влизане в употреба на новата мрежа ISFAGS, може да се оценява влиянието на различни ефекти от окръжаващата среда, като например тези, които ше се оценяват с микрогална точност, чрез различни модели. Към тези ефекти спадат и подпочвените води, съдържанието на влага в повърхностния слой на Земята, надземни и подземни водни потоци, водни пари в атмосферата, както и влиянието на строящи се сгради при изкопни и насипни работи. Тези ефекти довеждат до вариации на гравитационното поле на гравиметричните станции при точност 5 µGal и трудно се подават на моделиране.

Литература

- Димитров Л., И. Петков. Хроника на първите стъпки на приложната Геофизика в България. Методи и технологии за търсене на минерални суровини, С., Техника, 1990, 11-18.
- Живков К. ОБЯСНИТЕЛНА ЗАПИСКА за обект "Гравиметрични работи" за 1964 г., София, 1964, .(непубликувана), стр.1-8.
- <u>Живков К.</u> ОБЯСНИТЕЛНА ЗАПИСКА за изработването на гравиметрична карта в мащаб 1: 100 000 (непубликувана), София, 1967,. стр. 1-6.
- Милев Г., Д. Руес, К. Улрих, К. Василева, <u>Л. Стоянов</u>, Г. Вълев, Е. Михайлов, Н. Димитров. Абсолютни измервания и гравиметрична система на България, -*ГКЗ*, 2005, 5-6, 10-18.
- Милев Г, Е. Михайлов, Х. Цанков, С. Димовски. Систематизация и привеждане на гравиметричните точки на територията на България в единна система. -*ГКЗ*, 2013, 5-6, -3-9.

- Михайлов Е., Р. Радичев. Гравиметрични измервания в България за периода от 1926 до 2011 година. – Международна научна сесия 2011 на МГУ "Св. Иван Рилски" от 19-20 октомври 2011 година, София, България. Годишник на МГУ – 2011, Свитък I, Геология и Геофизика, 54, 2011. - 145-151.
- Огородова, Л.В., Б.П. Шимбирев, А.П. Юзефович. *Гравиметрия*, М., Недра, 1978, - 270-272.
- Огаджанов В.А. Концепция геофизических изследования, основанная на явлении дилатации горных пород. *Геофизика*, <u>4</u>, 1998 10-13.
- Петков И., Г. Георгиев. Първоредна гравиметрична мрежа в България, Известия на Геофизичния институт, 1, Отделен отпечатък, 1977. БАН-София.
- Трегер, Л. Обработка измерении международной гравиметрической сети. 1974 – Общий отчет ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ЧССР – Прага, февраль 1977 г

- Юркевич, О. И., Определение времени подготовки землетресений по медленым движениям поверхности земли. – *Геодезия картография аерофотосъемка*, Львов, 39, 1984. - 101 – 109.
- Crossley D, L.Vitushkin, H. Wilmes. Global systems for the measurement of the gravity field of the Earth: from Potsdam to Global Geodynamics Project and further to the establishment of an International System of Fundamental Absolute Gravity Stations. *KVNO*, 2013.
- Boedecker G. On gravity standartisation and the unified *European* gravity reference network uegn02. "Its mandate is to provide the basis for a single, coherent *system* terrestrial *gravimetry* adjustment model; *UNIGRACE* embedding now complete; Common data ,.GEOS 27-28.02.2008.

www.vugtk.cz/geos/2008/prezentace/1x3x2.ppt

Статията е рецензирана от проф. дфн Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ВИСОКОТОЧНИ ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА НЯКОИ ОТСЕЧКИ ОТ СОФИЙСКИЯ ПОЛИГОН И БАЗИТЕ КЪМ НЕГО

Ради Радичев¹, Емил Михайлов², Николай Кирилов¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, radirad@mgu.bg

² Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, 1113 София; emil_mih@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Дадени са резултати от извършени високоточни гравиметрични измервания на някои отсечки от Софийския гравиметричен полигон и базите към него през различни епохи, с различни видове проверена и изследвана гравиметрична апаратура, както и с новите компютризирани гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5. Анализирани са резултатите и са направени съответните изводи. Констатирани са промени на силата на тежестта в района на полигона и базите към него със скорост ± 1- 4 µGal на година.

Ключови думи: високо точни гравиметрични измервания, гравиметрична апаратура

HIGH ACCURACY GRAVIMETRIC MEASUREMENTS OF SOME SECTIONS OF THE SOFIA POLYGON AND ITS BASES Radi Radichev¹, Emil Mihaylov², Atanas Kisiov¹, Nikolay Kirilov¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; radirad@mgu.bg

² National Institute for Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; emil_mih@abv.bg

ABSTRACT. Results of high accuracy gravimetrical measurements are given of some sections of the Sofia gravimetrical polygon and its bases during different periods, made with different types of verified and examined gravimetrical equipment together with the modern computerized gravimeters Scintrex CG-3 and Scintrex CG-5. Results are analyzed and respective conclusions are made. Changes in the strength of the weight in the region are found in the polygon and bases its bases with a rate of ± 1 -4 µGal per year.

Key words: accuracy gravimetrical measurements, gravimetrical equipment

Въведение

Данните за гравитационното поле на земята широко се използуват за решаването на много задачи с научноизследователски и приложен характер. Изискванията за точност непрекъснато нарастват, особено през последните години със създаването на абсолютните гравиметри, криогенните гравиметри и компютризираните статични гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5. Възниква въпросът за стабилността на гравитационното поле във времето, т.е. доколко гравиметричните мрежи, снимки и еталонни полигони са стабилни във времето. По-сложен е въпросът с еталонните полигони, доколкото същите се измерват с най-високо достижимата точност и задават машаба на гравиметричните снимки. Целта на настояшата публикация е да се проследи с какава скорост се изменя гравитационното поле на Софийския еталонен гравиметричен полигон и базите към него, ако има такова, от многократни измервания извършени през различни епохи с много добре изследвани и еталонирани гравиметри, както и със съвременните компютризирани гравиметри Scintrex CG-3 и Scintrex CG-5.

Гравиметрични измервания на Софийския полигон

Измерването на Софийския гравиметричен полигон е извършвано през различни години с цел изследване състоянието на гравиметровата апаратура. От 1968 до 1984 години полигона е измерван почти всяка година, за сравняване машабните каефициенти на различните гравиметри, а след това до 2007г. през различни години. Повече подробности за измерванията от 1968 до 1984 години са дадени в Михайлов (1986). Извършени са високоточни измервания през м. май 1969г. с 5 гравиметъра ГАГ-2 и 3 гравиметъра ГАГ-1 на отсечките от полигона Копитото - Павлово, Копитото – Тихия кът, Тихия кът – Павлово, Павлово – Начало Драгалевски лифт, Начало Драгалевски лифт – Начало лифт Бай Кръстьо, Начало лифт Бай Кръстьо – Щастливеца и Щастливеца – Павлово (Михайлов, 2008). Тези отсечки, заедно с всички останали от полигона и базите към него, са измервани през различни периоди от време и с гравиметри от вида ГАК, ГР/К2 и ГНУ-КВ, като след осемдесетте години тези гравиметри обезателно се изследваха и еталонираха по метода на наклона на установката УЕГП-1 № 95

(Михайлов, 1991; Михайлов, Ценков, 2006; Михайлов и др., 2007). Гравиметрите на НИГиФ, ГАК-7Т и ГР/К2 с номера 689, 1514 и 1388 бяха ремонтирани в гравиметричната лаборатория гр. Бургас, заедно с гравиметъра на УАСГ, ГАК-7Т № 524. На същите бяха монтирани нови кварцови системи. През 2004г., част от горепосочените отсечки бяха измерени от белгийски специалист с компютризиран гравиметр Scintrex CG-3, и от български специалисти с гравиметъра на УАСГ, ГАК-7Т № 524. Гравиметърът на УАСГ беше изследван и еталониран на калибровъчната линия на БАН, която е част от Софийския полигон. В настоящата публикация се разглеждат резултатите от измерванията, извършени през 1969, 1983 и 2004г., а също и през 1983, 1996 и 2004 г. на различни отсечки от полигона и базите. Ще бъдат разгледани и измерванията, извършени на тези отсечки от Софийския полигон и базите към него, с компютризираните гравиметри CG-3 и CG-5 през 2004 и 2007г. През различните епохи, измерванията са извършени с различни видове гравиметрова апаратура, която има различни показатели за точност и по различни методики. В публикацията се дават и резултати от измерванията на д на някои точки от полигона и базите извършени с гравиметрите на НИГиФ през годините 1986 и 1996, и същите сравнени с измерванията на компютризирания гравиметър Scintrex CG-3, извършени през 2004 г. Като начално д е приета гравиметрична точка 1000 (Павлово).

Методики на гравиметрични измервания и резултати

Измерванията на всички горепосочени отсечки са извършвани по методиката А-В-А-В за гравиметрите ГАГ-1 и ГАГ-2 през 1969г., и по методиката А-В-А-В-А за гравиметрите на НИГиФ през годините 1983, 1986 и 1996, двукратно за всяка отсечка. През 2004г. измерванията с гравиметъра на УАСГ се извършиха по методиката А-В-А-В, също двукратно за всяка отсечка. С компютери-зирания гравиметър CG-3 измерванията през 2004 г. се извършиха по методиката А-В-С-D-Е-С-А (Михайлов 2008), а с компютризирания гравиметър CG-5, измерванията се извършиха по методиката А-В-С-D-С-В-А през 2007г. Измерванията, извършени от руски специалисти през 1969 г., са извършвани при 2-3 гируса на ъгъла на разтвора 2v, който се измерва непосредствено на точката с гравиметрите ГАГ-1 и ГАГ-2. Ако наблюденията на точката не са точни, то се увеличава броят на гирусите, т.е правени са допълнителни наблюдения. Записвани са температури и атмосферно налягане по време на измерванията. Гравиметрите от типа ГАГ не изискват еталониране или определяне на каквито и да са коефициенти. С гравиметрите на НИГИФ, както и с гравиметъра на УАСГ, се взимаха по 8-10 отчета, от които се избираха и записваха 3 отчета и то най-добрите. Записваха се температурите и времето на наблюдение. компютризирания гравиметър Scintrex При CG-3, резултатите от измерванията се записват автоматично от компютъра на гравиметъра, но белгийският специалист също си водеше карнет, на който записваше осреднените отчети на всяка минута от наблюдението. Върху измерванията извършени с гравиметрите на НИГиФ и УАСГ са вкарани и скалови поправки върху отчетите и поправки за прилив. Поправки за приливи са вкарани, както и при измерванията на руските специалисти, така и при измерванията на белгийския специалист. В таблица 1 са дадени резултати от измерените отсечки Начало Драгалевски лифт – Павлово, Начало лифт Бай Кръстьо – Начало Драгалевски лифт, Край лифт Бай Кръстьо – Начало лифт Бай Кръстьо, Тихия кът – Павлово и Копитото - Тихия кът през годините 1969. 1983 и 2004. заедно с изчислените средни годишни скорости ΔV на вариации на гравитационното поле. От таблицата си вижда, че имаме и положителни и отрицателни скорости $\Delta V. В$ таблица 2 са дадени измерените отсечки Бояна - Павлово, Тихия кът -Бояна, Разклон за Копитото – Тихия кът и Копитото -Разклон за Копитото през периодите 1983, 1996 и 2004г. Както се вижда от таблицата, скоростите ΔV и от трите

Таблица 1 2004скорост ΔV скорост ΔV 2004-1983г. 1983-1969г. скорост ΔV Δg Δg Δg 1969г. ΔV (2004-ΔV (2004-Отсечки 1983 2004 ΔV (1983-1969 Разлики Разлики Разлики 1969г.) 1983г.) от – до [mGal] [mGal] [mGal] δ∆g [mGal] δ∆g [µGal] 1969r.)[µGal] δ∆g [µGal] [µGal] [µGal] 67,190 67,260 67,303 5 2 2008-1000 70 113 43 3 2009-2008 86,545 -1 86,570 86,520 -50 -25 25 -4 1 2020-2009 87,970 87,910 87,826 -60 -144 -84 -4 -4 -4 1017-1000 88,510 88,520 88,476 10 -34 -44 1 -1 -1 60,522 -2 60,600 60,510 -90 -78 12 -6 1011-1017 1

периода на измерване са отрицателни за гравиметричния ход от Павлово до Копитото, като само скоростта ΔV на отсечката 1017-1005 за периодите (2004-1983г.) и (2004-1996г.) е положителна. Тава е отсечката Тихия кът – Бояна. През 2007г. също от белгийския специалист се извършиха гравиметрични измервания на отсечки от Софийския полигон и базите към него с гравиметър Scintrex CG-5. Съпоставени резултатите от измерванията на Scintrex CG-3 през 2004 г. и измерванията на Scintrex CG-5 през 2007 г. са дадени в таблица 3, както и скоростите ΔV на възможните годишни промени на разликите в силата на

тежестта. Точността на измерванията с гравиметър CG-3 е до $\pm 10 \mu$ Gal, а с гравиметър CG-5 е $\pm 5 \mu$ Gal. Измерените отсечки с двата компютризирани гравиметъра са: Симеоново – Драгалевци, Лифта Драгалевци, Манастира - Лифта и Манастира – Симеоново. Гравиметричната точка в Симеоново е от Калибровъчната линия на БАН. От таблица 3 се вижда, че разликите между скоростите ΔV на годишните промени на разликите в силата на тежестта, измерени с двата компютризирани гравиметъра, достигат до 15 μ Gal. Периодът на измерване между епохите е много малък, т.е. 3 години. Също така, при по-малък период на

				-					
							скорост	скорост	скорост
	Δg	Δg	Δg	1996-1983	2004-1983	2004-1996	Δ V/20D	Δ V/20 ∂	Δ V/sod
Отсечки	1983	1996	2004	разлики	разлики	разлики	$\Delta V(1996 -$	∆V(2004 -	ΔV(2004 -
от-до	[mGal]	[mGal]	[mGal]	δ∆g [μGal]	δ∆g [μGal]	δ∆g [μGal]	1983) [µGal]	1983) [µGal]	1996) [µGal]
1005-									
1000	21,8	21,77	21,693	-30	-107	-77	-2	-5	-10
1017-									
1005	66,72	66,6	66,783	-120	63	183	-9	3	23
1018-									
1017	22,1	22,05	21,897	-50	-203	-153	-4	-10	-19
1011-									
1018	38,92	38,83	38,685	-90	-235	-150	-7	-11	-19

Таблица 3

Таблица 2

Отсечка	∆g CG-3 /2004/, [mGal]	∆g CG-5 /2007/, [mGal]	Разлика δ∆g, [µGal]	скорост ∆V/год., [µGal]
4000 - 2005	7,768	7,785	17	6
2009 - 2005	24,719	24,752	33	11
2013 - 2009	17,12	17,128	8	3
2013 - 4000	34,07	34,115	45	15

измерване от 8 години, както се вижда от таблица 2, скоростите достигат до $\pm 23\,\mu\text{Gal}.$

При приета неизменна сила на тежестта g на абсолютната гравиметрична точка 1000, в Павлово са изчислени стойностите на силата на тежестта g на точки от полигона и базите измерени през годините 1986 и 1996, както подчертахме по горе в публикацията. Сравнени с измерванията на белгийския специалист, извършени през 2004 година, са дадени в таблици 4 и 5 , заедно с разликите и техните скорости V.

Или при различните времеви интервали на измерване, възможното изменение на силата на тежестта с времето носи почти еднакъв по ниво на амплитудите характер. Може да се каже, че интензивността на протичане на съвременните тектонически процеси е почти еднаква в различните години.

Таблица 4

Гравиметрични точки	Гравиметри CG-3, Епоха 2004г., g [mGal]	Гравиметри ГАК-7Т, ГР/К2, Епоха 1986г., g [mGal]	Епохи 2004-1986г. Разлики бд [µGal]	Епохи 2004-1986г. Скорости V [µGal]
1000 Павлово	980240,785	980240,785	0	0
1005 Бояна	980219,093	980219,036	57	3
1017 Тихия кът	980152,310	980102,276	34	2
1018 Разклон Копито	980130,412	980130,301	112	7
2003 Драгалевци	980198,202	980198,246	-44	-2
2008 Начало лифт	980173,483	980173,525	-40	-2
2013 Манастира	980156,363	980156,316	47	3
2016 Лифтов стълб	980108,148	980108,086	62	3

Таблица 5

Гравиметрични точки	Гравиметри CG-3, Епоха 2004г. g [mGal]	Гравиметри ГАК-7Т, ГР/К2 Епоха 1996г. g [mGal]	Епохи 2004-1996г. Разлики δg [µGal]	Епохи 2004-1996г. Скорости V [µGal]
4000 Симеоново	980190,433	980190,362	71	9
3044 Бистрица	980176,226	980176,206	20	3
3004 Репер на ливада	980226,116	980226,183	-66	-8
3003 Трафопост	980214,234	980214,286	-52	-6
3001 Разклон Камбани	980199,038	980198,996	42	5
3000 Камбани	980221,965	980221,956	9	1

Анализ на резултатите и изводи

Съпоставени са данните от повторни гравиметрични измервания на разлики в силата на тежестта (Δ g) между съседни точки с максимални средни грешки до ±30 µGal. Като резултат имаме следната картина за възможни вариации (скорости) Δ V на измерени разлики в силата на тежестта:

• Измененията на вариациите (скоростите) ΔV имат закономерен характер и закономерно отразяват особеностите на строежа на земната кора.

• Вариациите (скоростите) ∆V в района на разлома, са положителни за разлома, пресичащ гравиметричния профил 1011 (Копитото) – 1000 (Павлово) при гравиметричната точка 1017 (Тихия кът) на отсечката 1017 (Тихия кът) – 1005 (Бояна). Там някъде минава Витошкият разлом. Също така са положителни за отсечката 2008 (Начало Драгалевски лифт) – 1000 (Павлово). Тя е от профила 1000 (Павлово) – 2020 (Край на лифт Бай Кръстьо). При 2008 (Начало Драгалевски лифт), също минава Витошкият разлом.

1/ В резултат на гравиметричните измервания на различни отсечки от Софийския гравиметричен полигон се получават, както видяхме, различни по знак и скорост изменения на гравитационното поле във времето. На едни отсечки от полигона, в едни и същи периоди от време, се отбелязва тенденция на намаляване значенията на ΔV , а на отсечки 2008-1000 и 1017-1005 на увеличаване на ∆V. При 2008 гравиметрична точка минава Витошкият разлом, както подчертахме. Също и при 1017 гравиметрична точка, пак минава Витошкият разлом. В Арнаутов и др. (2004) се цитира хипотеза за възможно възникване през 1978 и 1979 г. на глобална вълна от тектонически напрежения, вследствие подпъхването на Тихоокеанската плоча под Евроазиатската. Разпространението на такава вълна на сплескване с продължителност около 3 години, може да се прояви във вариации на различните геофизически параметри. В частност се проявява и във вариации на силата на тежестта. Това е възможната причина за намаляване на силата на тежестта, а след преминаването на вълната, да се предизвика увеличаване на силата на тежестта в последващите я години.

2/ Смяната знака на вариациите на гравитационното поле в Софийския полигон към понижаване е възможно да съответства и на период на усилване, както на местната сеизмичност, така и на период на възникване на по-силни земетресения.

3/ Вариацийте на намаляване и увеличаване на силата на тежестта може да се дължат и на снижаване нивото на подземните води през различните периоди, когато са извършвани гравиметричните измервания.

4/ Съдейки по използваната гравиметрична апаратура и методите на измерване се вижда, че колкото по-големи са вариацийте на силата на тежестта, то същите могат да бъдат в значителна степен повлияни и от грешки от самите както са например скоростите измервания, OT измерванията ΔV(2004-1983) и ΔV(2004-1996). През 2004г. измерванията бяха извършени с гравиметри Scintrex CG-3 и ГАК-7Т № 524, които са разнородни по точност, а през 1983 и 1996 години с гравиметри ГАК-7Т и ГР/К2. Влияние на измерванията оказва и построената телевизионна кула на Копитото през 1985г. при точка 1011. Точка 1017 е удряна, единят ъгъл на бетоновия фундамент е счупен, което също оказва влияние върху резултатите от измерванията. Около точка 1018 има изменение на релефа, като от поляна се е превърнала в гъста борова гора.

5/ При измервания на точки от Международния еталонен гравиметричен полигон (Отчет, 1977) през годините 1958, 1968 и 1974 величината на силата на тежестта д на точките от полигона остава неизменна в границите на точките от полигона остава неизменна в границите на точността на измерванията (0,02 – 0,03) mGal, или се изменя със скорост ±3-4 µGal на година, като е приета силата на тежестта в Потсдам за неизменна. В таблица 6 са дадени резултати от тези международни измервания, заедно със скоростите V на изменение на д на гравиметричните точки. Оценката на точността, изпълнена по разлики от измерванията е показала, че постоянството на полето на силата на тежестта на териториите на бившите Социалистически страни се характеризира с грешка ±0,015 mGal (Отчет 1977).

Гравиметрични точки	Епохи 1968 – 1958г. Ризлики в g [µGal]	Епохи 1974 – 1958г. Разлики в g [µGal]	Епохи 1974 – 1968г. Разлики в g [µGal]	1968 -1958г. Скорости V [µGal]	1974 -1958г. Скорости V [µGal]	1974 -1968г. Скорости V [µGal]
Берлин	60	47	-13	6	3	-2
Варшава	120	87	-33	12	5	-6
Прага	-80	-61	19	-8	-4	3
Будапеща	110	103	-7	11	6	-1
Букурещ	100	5	-5	10	0	-1
София - летище	-20	9	29	-2	1	5

Таблица 6

Резултатите от измерванията на отсечки от Софийския полигон и базите към него, също така показват средно годишна скорост на изменение, ако има такава, на разликите в силата на тежестта "Δg", както и на "g" на точките от порядъка на ±3-4 µGal. Фактически те лежат в границите на точността на измерванията със статичните

гравиметри от вида ГАК, ГР/К2, ГНУ-КС и ГНУ-КВ от ± 30 µGal. Точността на компютеризираните гравиметри е под ± 10 µGal и, както се вижда от таблица 3, ние имаме изменение на годишните скорости на разликите в силата на тежестта до 15 µGal. Такива изменения, вероятно се дължат на ефектите, свързани с подпочвените води,

съдържанието на влага в повърхностния слой на Земята, надземни и подземни водни потоци, водни пари в атмосферата, станали земетресения и др.

Литература

- Арнаутов, Г.П., Е.Н. Калиш, Ю.Ф. Стус, М.Г.Смирнов. Експериментальное изсследование вариации ускорения силы тяжести абсолютными лазерными гравиметрами. *АВТОМЕТРИЯ - РАН – Сибирско оотделение*, 40, 6, 2004. - 19-32 /интернет/.
- Михайлов, Е. Анализ на гравиметричните измервания на Софийския полигон и базите към него за периода 1967 – 1984г. - *Геодезия картография кадастър,* 6, 1986. -9-16.
- Михайлов, Е. Сравнителен анализ на резултати от измервания на Софийския еталонен полигон с

различен вид гравиметри през различни години. - ГКЗ, София, 1-2, 2008. - 4-6.

- Михайлов, Е. Методика за еталониране на гравиметри по метода на наклона на УЕГП 1 № 95, 1991 – ФНИТ"ГиФ". За служебни цели на ФНИТ"ГиФ".
- Михайлов, Е., Ц. Ценков. Гравиметрични наблюдения за изследване на сеизмогенни зони в района на град София. – Доклади на научна конференция с международно участие – ВСУ "Любен каравелов", 15 май-16 май 2007 г. 2007. - VII-1 – VII-7.
- Михайлов, Е., Д. Димитров, Л. Стоянов, М. Еверхард. 2006. Резултати от гравиметрични изследвания в южната зона на Софийската котловина. - ГЕОНАУКИ 2006, Национална конференция с международно участие София-30 ноември – 1 декември 2006 г.
- Отчет о работах на Международном еталонном гравиметрическом полигоне в 1974 году. Москва 1977г.

Статията е рецензирана от проф. дфн Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ПРЕДВАРИТЕЛНИ ПРОУЧВАНИЯ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА КИНЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ И РАННО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОТ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ В УСЛОВИЯТА НА "АСАРЕЛ ЕАД"

Иван Парушев, Бойко Рангелов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, branguelov@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Проведени са предварителни проучвания свързани с изработването на кинематичен модел на система за мониторинг и ранно предупреждение от земетресение за обектите на Асарел ЕАД. Отчетени са най-опасните сеизмични огнища на територията на страната и извън нея. Определени са разстоянията до тях, времената на пробега на Р и S вълните, както и разликите във тези времена. Подобна методика дава възможност за сигнализация при ставащо земетресение, базирана на основната идея за разполагане в максимална близост на датчици до всяко сеизмично огнище. Поради високата скорост на предаване на информация, първичните Р вълни служат за сигнализация за идващите по-късно S вълни, които са с драстично по-големи амплитуди и носят основния разрушителен потенциал.

Ключови думи: Ранно предупреждение, земетресения, Асарел-Медет

INITIAL RESEARCH OF THE KINEMATIC MODEL OF A SYSTEM FOR MONITORING AND SEISMIC EARLY WARNING FOR "ASAREL" LTD

Ivan Parushev, Boyko Ranguelov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, branguelov@gmail.com

ABSTRACT. Initial research to the creative kinematic model for a monitoring and seismic early warning system for the sites of the Asarel Ltd., is performed. The model is based to the consideration of the most dangerous seismic sources located on the country's territory and outside. The distances of the seismic sources to the site of Asarel Ltd are calculated. The P-waves and S-waves travel times are modeled as well and the preliminary results are obtained. The idea is based on the principle to install a seismic device nearest to each seismic source. This device can be triggered by the P-waves and the system starts work and signalize for the earthquake occurrence. The most destructive secondary S-waves are traveling slower, thus giving the time for any preventive measures.

Key words: Early warning, earthquakes, Asarel-Medet

Въведение

Системите за сеизмичен мониторинг и ранно предупреждение се основават на една фундаментална физическа характеристика на сеизмичните вълни – различната скорост на първичните (Р) и вторичните (S) вълни (Ranguelov, В. 2011). Теоретично, още в средата на XVIII век, физиците достигат до теоретичната обосновка, че в твърдите тела съществуват два вида обемни (защото се разпространяват в целия обем на твърдите тела) вълни – наречени са първични (от английското Primary) и вторични (от английското Secondary) вълни. Те се разпространяват с различна скорост, като "теоретичното им отношение" е равно на "корен от 2". Имат и други особености – обикновено първичните вълни (при преминаването им през твърдата среда частичките на средата трептят по посока на разпространението на лъча на вълната) имат значително по-малки амплитуди и по-високи честоти, като често ги наричат "сигнални". Пристигащите след тях вторични вълни (при тях частичките на средата трептят перпендикулярно на лъчите на разпространение на вълните) имат 3-4 пъти по големи амплитуди и по-ниски честоти. Тези им свойства, правят вторичните обемни

вълни (наричани "разрушителни") най-разрушителната компонента на сеизмичните вълни, разпространяващи се при всяко земетресение (Ranguelov, 2011). Поради тези съображения системите за ранно предупреждение от земетресения използват първичните вълни като първи и най-важен сигнал, че след няколко секунди ще се появят по-разрушителните и по-опасни вторични вълни. Тези няколко секунди са основното преимущество на сеизмичните системи за ранно предупреждение. През това време (разликата във времената на пристигане на първичните и по-опасните вторични вълни) могат да се извършат редица полезни действия: автоматично изключване на различни опасни съоръжения – АЕЦ, бързи влакове, опасни производства, далекопроводи, газопроводи и други системи на инфраструктурата, както и да се подаде сигнал към гражданите и управленските структури. Понастоящем в света съществува една единствена работеща система за ранно предупреждение и тя е в експлоатация от 2007 г. в Япония. Системата струва няколко милиарда йени и покрива цялата територия на Япония. Тя доказа своята висока ефективност при земетресението от 11 март 2011 г. Тогава бяха изключени всички АЕЦ, скоростните влакове "Шинкансен", химическите рафинерии, газопроводите и други опасни компоненти на японската инфраструктура (Рангелов, 2012). В резултат, щетите от земетресението (особено вторичните) бяха сведени до минимум. Важно е да се отбележи, че преди въвеждането на системата в експлоатация, около пет години е протичало обучение на цялото население на Япония, за това, как действа тази система, какви се нейните възможности и как населението да се ползва от сигналите, излъчвани от нея. Става дума за най-развитата в електронно отношение страна, където неграмотността е ликвидирана още в началото на XX век. Това е съществен фактор при изграждане и функциониране на подобни системи за ранно предупреждения от природни бедствия. Тези системи са немислими в японския си вариант в слабо развитите страни. Например в Индонезия, където голяма част от населението е неграмотно, комуникациите са на ниска ниво, а хората вярват само на казаното от ходжата. В момента САЩ въвеждат подобна на японската система в Калифорния. В Европа мониторинговите системи са инсталирани в такива застрашени от земетръс градове, като Букурещ и Истанбул (Ranguelov, 2013).

Кинематични и динамични сеизмични системи за ранно предупреждение и мониторинг – теоретични основи

Едно от най-силните оръжия на науката сеизмология, при изграждането на системи за ранно предупреждение от земетресения, е моделирането на очакваните явления и процеси в многосценарийни варианти. Има два основи подхода, които се съчетават в оптимално действие при издаването на ранните предупреждение (Ranguelov, 2014а, Рангелов, 2014б):

- Кинематични модели. Те се основават на разликата в скоростите на първичните и вторични сеизмични вълни, за които стана дума по-горе. Тези системи "стартират" (реагират) при регистриран сигнал, т.е. първична сеизмична вълна, генерирана от дадено земетръсно огнище и с достатъчно голяма амплитуда (дискриминационното ниво е така подбрано, че системата да реагира само на опасни сеизмични въздействия в епицентралната зона). Тригериращото ниво е така подбрано, че да дава минимум "лъжливи тревоги", т.е. системата да се включва и сигнализира, когато амплитудата на първичната вълна, достигнала до най-близката от земетръсното огнище сеизмична станция, е достатъчно голяма, за да се очакват поражения. Това задейства цялата система от станции и сигналните устройства, свързани с тях. Тогава времето за реакция се измерва с разликата от време в началото на процеса и предварително изчислените времена за пробег на вторичните вълни от огнището до застрашените обекти.
- Динамични модели. Те се основават както на разликата в скоростите на пробег на сеизмичните вълни, така и в очакваните амплитуди на разрушителната част от колебанията, регистрирани от системата. Тези системи са по-усъвършенствани, защото предварително изчислените сценарии, могат да отсеят местата, които са най-застрашени. Ефективността им практически не зависи от местоположението на сеизмичното огнище, а дава информация за всички

(площи, области), където сеизмичното места въздействие може да достигне опасни размери, в зависимост от епицентралното разстояние. Често тези системи използват единична тригерираща станция, която сама автоматично определя местоположението на епицентъра и след това подава сигнал до всички станции на системата, които реагират според предварително моделираните сценарии на очакваните опасни сеизмични въздействия. Този вид системи използват т.н. "матрица на решението". Тя може да разграничава степента на опасност от очакваните силни сеизмични въздействия в реално време, т.е. може да ги класифицира като "силна, средна или слаба" сеизмичната опасност и т.н. Тези системи изключват важни инфраструктурни обекти, като АЕЦ, бързоходни влакове, спират и затварят метростанции, мостове и други застрашени от вторични аварии обекти (химически заводи произвеждащи опасни химикали, рафинерии, газопроводи и т.н). Тези системи излъчват и съобщения по средствата за масова информация, GSM мрежите и др. комуникационни средства, както например е в Япония.

Уравнението:

$$Vp/Vs = 2^{1/2}$$
 (1)

е фундаменталната връзка, върху която функционират кинематичните системи за ранно предупреждение. Зависимостта е свойство за всяка идеална еластична среда. Често в земната кора стойността е по-малка заради не идеалната еластичност на земната среда. Ходографът функция, която представя зависимостта между е времената на пробег на различните вълнови фази (S. P. Sg, Pg, Sb, Pb и др.) и разстоянието до сеизмичния източник. Функцията F (d, t_p, t_s) често е права линия, зависеща от скоростта на сеизмичните вълни в определения слой. Това е основната използвана функция за изчисляването на кинематичния модел (Ranguelov, Iliev, 2013, Parushev, Ranguelov, 2014). Основният принцип изисква по-дълго време за разпространение от сеизмичния източник до застрашената територия, което означава поголямо разстояние. Времевата разлика (ts-tp) се нарича предупредително време и представлява разликата между пристигането на Р и S вълните до застрашеният обект. Тези времена са предварително табулирани (ходографи на Джефрис Булен) и са представени на фигура 1.



Фиг. 1. Ходографи на различни сеизмични вълнови фази – по таблицата на Джефрис-Булен

Кинематичен модел на системата за мониторинг и ранно предупреждение за района на Асарел

Този модел се основава на презумпцията, че Р и S вълните, пътуват от всеки сеизмичен източник на страната до обектите на Асарел. Сеизмичните източници са очертани по принципа на конструкцията на сеизмичната карта на България (Ranguelov, 2015, Parushev, et al., 2015). Моделът взема предвид всички познати случаи за територията на България, които са представени опростено като геометрични точки на сеизмичните източници (фиг. 2,3,4,5).

Алгоритъм на функционирането

Използват се следните съображения преди инсталирането на апаратурата (Kalurachchi et al., 2014):

- Избирането на локацията на всяка станция трябва да бъде съобразено с географското разположение на сеизмичните източници;
- Трансформиране на разстоянията във времена с помощта на ходографи;
- Използването на Р вълните за сигнализация и за стартиране на цялата система;
- 4. Оптимизация на сеизмичните станции:

 А. Пускащите станции на системата се подбират в най-близката точка до епицентъра;

Б. Използват се станции на еднакви разстояния от източника;

В. Периферните станции за засичане на земетръсни събития извън България, също са предвидени.



Фиг. 2. Основни сеизмични източници в България и разстояние да Асарел



Фиг. 3. Основни сеизмични източници в България и времена на пробег за Р вълни до Асарел



Фиг. 4. Основни сеизмични източници в България и времена на пробег за S вълни до Асарел



Фиг. 5. Основни сеизмични източници в България и времена на разликите за S-P вълни до Асарел

В общи линии, стъпките на разработка следват принципа на придобиване на информация за земетръсното събитие, колкото се може по-скоро след възникването му. Тъй като скоростта на сеизмичните вълни е от порядъка на km/s, то е от значение, сеизмичният сензор да бъде в най-близката точка до епицентъра. Стъпките, който биват задействани при засечени опасни нива на колебанията, генерирани от сеизмичните източници, са следните:

- Р вълните сигнализират за събитие и задействат цялата мрежа;
- Моделиране на вълновото поле на разпространение и посоката на движение на сеизмичния фронт се получава чрез последователно задействане на сеизмичните устройства;
- Избиране на предварително изчислен сценарий, който е свързан с матрицата на вземане на решение;
- Моделиране на времето за пристигащите S вълни и въвеждане на близки (червени), средни (оранжеви) и далечни (зелени) зони;
- Вземане на решение предварително изработване на матрица на решенията;
- 6. Излъчване на предупредителни сигнали за населението, администрациите и защитните институции;
- Комбинирано предупреждение в случай на едновременно действие на няколко фактора (земетресение, цунами, свлачище и др.);
- Изпращането на сигнал може да се осъществи по няколко канала – SMS, E-mail съобщение, сигнал за пейджър, TV, радио емисия, по звуков или светлинен път и др.;
- 9. Прекъсване на предупредителния сигнал след преминаване на събитието.

За изпълнението на този алгоритъм, най-важното е инсталирането на устройствата, възможно най-близко до сеизмичния източник. Това трябва да е специализирано устройство, което да сигнализира появата на земетръс. Анализът на получените стойности и графичното представяне на резултатите от моделирането, показват висока ефективност при сигнализация, поради кратките времена на пробег на сеизмичните вълни. B международната практика в такива случаи, се търси компромисно решение между ниската точност за локация на сеизмичния източник и краткото време за сигнализация. Смята се. че ефективността на подобни системи се диктува точно от краткото време за сигнализация. Подобре е незабавна сигнализация, отколкото загуба на време за по-точна локализация на сеизмичния източник (задача, която обикновено се решава от националните сеизмологични мрежи на страните, но изисква много повече време за намиране на решението - т.е. локализирането на източника и определянето на силата на земетресението). Често тази разлика в компромиса време/точност достига десетки и стотици пъти. Смята се, че е по-добре управленските органи да са сигнализирани, че в района на локалната мониторингова мрежа за силни движения става земетресение (което неизбежно е в района на мрежата), за да могат да имат възможно най-бърза реакция по спасяване и ограничаване на вторичните последици от силно земетресение. Изчакването на пълна и по-подробна информация за точното местоположение и силата на земетръса, давани от националните мрежи, изисква повече време и ограничава способността за бърза и незабавна реакция. Това е най-важно условие в подобни бедствени ситуации по отношение на предприемането на незабавни спасителни мерки за гражданите и инфраструктурата.

При подобна конфигурация на източника на сеизмични вълни (земетресението) и регистриращите и сигнализиращи устройства, се налага системата за мониторинг да работи в мрежа. В нея задействането на една-единствена станция с ниво на тригериране, установено да реагира на достатъчно силно земно ускорение, трябва да стартира работата на цялата система. Така ще се избегне даването на "фалшиви" тревоги и ще се повиши регистриращият капацитет за мониторинг на силните земни движения предизвикани от местно земетресение.

Изводи и заключение

Кинематичният модел за сеизмичен мониторинг и ранно предупреждение за района на Асарел е създаден по оригинална методика, използвайки времето на пробег на сеизмичните S и P вълни, възможни да бъдат излъчени от българските сеизмични огнища. Моделът е предварителен и покрива основните сеизмично активни зони в България. Изчисленията на моделите могат да се използват от местните власти и други институции за развитието на сеизмични мониторингови и системи за ранно предупреждение за защита на обектите на Асарел-Медет и тяхната инфраструктура, както и за работещите в тези обекти в случай на земетресения, където и да е на територията на България. Моделите за времето на пробег на сеизмичните вълни, показват относително висока ефективност системата.

Дадени са основните алгоритми за функционирането на специализирана система за сеизмичен мониторинг и ранно предупреждение. Подобна система може да бъде мултиплицирана за всички обекти на миннодобивната и енергийна инфраструктура на България.

Литература

- Рангелов, Б. 2012. Разгневената Земя природните бедствия, С., Изд.БАН, 294 с.
- Рангелов, Б. 2014. Системите за ранно предупреждение от природни бедствия все по-актуални. CIO, с. 60-63. ISSN 1312-5605.
- Kalurachchi, Y., M. Indirli, B. Ranguelov, F. Romagnoli. 2014. The ANDROID Case Study; Venice and its Territory: Existing Mitigation Options and Challenges for the Future, *Procedia Economics and Finance 18 (2014)* 815 – 824 © 2014 Published by Elsevier B.V. doi: 10.1016/S2212-5671(14)01007-7. Proc. 4th Int. Conf. on Building Resilience, Building Resilience 2014, 8-10 September 2014, Salford Quays, United Kingdom
- Ranguelov, B. 2011. Natural Hazards nonlinearities and assessment, Sofia, Acad. Publ. House (BAS), 327 p.
- Ranguelov, B. 2013. Initial steps to the early warning systems in Bulgaria – earthquakes, tsunamis, marine hazards, *Geophysical Res. Abst.*, 15, EGU2013-8239.
- Ranguelov, B. 2014a. Early warnings Bulgarian experience in case of time deficit systems (earthquakes and tsunamis)., *Proc. 5th Intl. Conf. Cartography and GIS*, vol.2. 15-20th June., Riviera, Bulgaria. p. 738-745.
- Ranguelov, B. 20146. Early warning systems for earthquakes and tsunamis – a global innovation. Bulgarian experience. *Proc. 1st Intl. Conf. "Innovative behavior, entrepreneurship* and sustainable development." Sofia, 28-29 June, Publ. house - ZNANIE, p.257-278, ISBN 978-954-621-247-4.
- Ranguelov, B., T. Iliev. 2013. Geography aspects of the monitoring and early warning seismic system in Bulgaria., *Proc. 3rd Intl. Geography Symp.*, 10-13 June, Kemer, Turkey, 287.
- Ranguelov, B. 2015. Historical Disasters Data Extraction and a Modern Marine Geohazards Early Warning System in the Area of the North Bulgarian Black Sea Coast., Proc. FIG Working Week 2015 "From the Wisdom of the Ages to the Challenges of the Modern World"., Sofia, Bulgaria, 17-21 May 2015., pp. 1-9.

https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/ fig2015/techprog.htm

- Parushev, I, B. Ranguelov, 2014. General principles of the kinematic models used in early warning systems – earthquakes and tsunamis (Venice case), Ann. of M&G University, Vol. 57, Part I, Geology and Geophysics., p. 95-100. ISSN 1312-1820
- Parushev, I., B. Ranguelov, T. Iliev, E. Spasov. 2015. Kinematic modeling of idealized system for early registration and warning in case of an earthquake., *Proc.* 7th BgGS National Conference With International Participation "GEOPHYSICS 2015" pp. 1-8. (on CD).

Статията е препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ВЛИЯНИЕ НА ОПЕРАТОРА ЗА ИЗГЛАЖДАНЕ НА СКОРОСТНИТЕ ФУНКЦИИ ВЪРХУ ДЕЙСТВИЕТО НА ДЪЛБОЧИННАТА КИРХОФ МИГРАЦИЯ ПРЕДИ СУМИРАНЕ

Мая Григорова

РЕКСИМсеиз ООД, 1680 София, maya.grigorova86@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Ключов елемент при извършването на Дълбочина Кирхоф миграция преди сумиране (ДКМПС) се явява правилно съставеният скоростен модел на данните. При условие, че първоначалният скоростен модел е коректно подбран, може да се пристъпи към по-нататъшната му обработка за целите на дълбочинната Кирхоф миграция преди сумиране. Допълнителната обработка на скоростния модел включва неговото изглаждане с подходящ оператор за изглаждане. Необходимостта от изглаждане на скоростните функции се налага, за да се подобри действието на ДКМПС. Известно е, че процедурата работи добре при липса на резки аномалии в полето на скоростите, тъй като дори малки изменения в полето водят до големи разлики в съставените дълбочинни изображения.

Ключови думи: Скоростен модел, Дълбочинна миграция

INFLUENCE OF SMOOTH OPERATOR IN VELOCITY MODEL BUILDING FOR PRE-STACK KIRCHHOFF DEPTH MIGRATION Maya Grigorova

REXIMseis Ltd., 1680 Sofia, maya.grigorova86@gmail.com

ABSTRACT. Velocity model building for Prestack Kirchhoff Depth Migration (PSDM) is a key element in depth processing of seismic data sets. In case, that initial velocity model is properly chosen it can be used in forward processing steps in depth domain for PSDM. One possible additional processing step is smoothing the velocity functions. Smoothing velocity field is necessary operation before PSDM for improving its performance. Lack of strong lateral velocity variations is key issue for achieving best results performing PSDM. Even small deviations in velocity functions (in lateral direction) can bring to significant differences in depth images.

Key words: Velocity model, Prestack Kirchhoff Depth Migration (PSDM)

Въведение

В скоростния анализ основна цел се явява намирането на подходяща функция на скоростта спрямо времето, която да осигури най-добра кинематична поправка.

Полето на скоростите има за цел да покаже наличието или отсъствието на резки изменения в модела на скоростите за конкретния разрез. Такива изменения могат да бъдат аномално ниски или аномално високи скорости, наблюдавани на близки разстояния. Счита се, че подобни ефекти са нереалистични в общия случай, тъй като скоростните функции се анализират през 500m, което се смята за недостатъчно разстояние за твърде резки изменения в скоростта.

Внимателното съставяне на скоростния модел на средата има съществено значение, тъй като миграционните преобразувания на сеизмичните данни, както във времевата област, така и в дълбочинната област, силно се повлияват от качеството на подбрания за миграция модел на скоростите. Скоростният анализ на сухоземни сеизмични данни може да включва няколко етапа (Landmark, 1995). На първо място се избира помощна скоростна функция, съставена посредством налична сондажни данни и лабораторни изследвания. Тази първоначална скоростна функция се използва за първоначално сумиране на данните. Така полученият сумиран разрез дава възможност да се направи анализ на качеството на данните и да се определят някои геоложки особености на разреза, характеризиращи се с определени скоростни вариации. Промените в геологията на разреза обикновено са съпроводени с промени в скоростната характеристика на разреза. След оценка на тези особености, като следваща стъпка следва избор на подходящ скоростен модел на средата, който да отговаря на геоложките особености на разреза. За целта, такъв модел се избира с помощта на сумирани по обща дълбочинна точка трасета, през равни интервали за целия разрез. Големината на тези интервали се избира въз основа на специфичните геоложки особености на разреза (Grigorova, 2013). Качеството на съставения скоростен модел във времевата област и неговата директна трансформация в дълбочина може да се проследи чрез полетата на скоростите, както е показано на фигура 1. На показаното изображение, скоростното поле е хомогенно, без наличие на резки изменения в скоростните функции на близки разстояния, което може да е предпоставка за появата на несъществуващи структурни форми.

допълнителна информация от съседен профил или по



Фиг. 1. Скоростни модели във времевата (в ляво) и в дълбочинната (в дясно) област, без приложен оператор за изглаждане на полето

Описание на експеримента

Настоящият експеримент има за цел да покаже ролята на добре избран оператор за изглаждане на скоростите и последиците от некоректния избор на такъв оператор.

За целта са извършени експерименти със следните характеристики, посочени в таблица 1.

Полетата на скоростите, с така съставените модели, са показани на фигура 2. На посочената фигура се наблюдава постепенно изглаждане на скоростното поле с увеличаване на дължината на оператора.

Таблица 1.

Параметри на изходните данни за извършване на експериментите

Име на модела	Дължина на оператора за изглаждане, %
Модел без изглаждане	-
Модел_50%	½ от дължината на офсета на профила
Модел_100%	Пълния офсет на профила



Фиг. 2. Полета на скоростите: Модел без изглаждане, Модел_50% и Модел_100%

Дълбочинната миграция се осъществява главно въз основата на скоростно-дълбочинен модел на средата, който е представен от интервалните скорости в дълбочина. При условие, че скоростният модел на средата е определен точно, то тогава и дълбочинната миграция позиционира отразяващите повърхности с висока точност. Поради тази причина, в сеизмичните дейности голямо внимание следва да се обръща на съставянето на скоростния модел на средата, първоначално във времевата област и впоследствие неговото трансформиране и подобряване в дълбочинната област, главно посредством сеизмична томография (Григорова, 2014).

На фигура 3 са показани полетата на скоростите за трите модела след прилагане на сеизмична томография. Анализът на скоростните полета след сеизмичната томография показва по-голяма детайлност на полетата.



Фиг. 3. Полета на скоростите след сеизмична томография: Модел без изглаждане, Модел_50% и Модел_100%

С така съставените полета на скоростите е извършена Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране (ДКМПС). При наличие на коректен скоростен модел на средата, резултатите от ДКМПС отразяват в най-голяма степен геолого-геофизичния модел на средата (Tsunami Development, 2009). Сумираните данни са представени във фигура 4.

АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

При анализа на получените резултати следва да се обърне внимание на няколко аспекта (Григорова, 2014):

- Разрешаваща способност на получените разрези;
- Честотен състав на резултатите от ДКМПС;
- Проследяемост на отразяващите граници;
- Наличие на неестествени нарушения, свързани с не геоложки причини;

Моделът без изглаждане (фиг. 4) може да се характеризира с ниска разрешаваща способност, както във вертикална, така и в хоризонтална посока. При моделите с изглаждане 50 и 100% се забелязва значителен напредък в това отношение - получените резултати се характеризират с по-висока разделителна способност - вертикална и хоризонтална, спрямо първия модел. Честотният състав на получените резултати е с добро качество – наблюдава се широк честотен диапазон, което се дължи на качеството на обработените във времевата област данни, явяващи се вход за дълбочинна миграция.

Продължителността на отразяващите повърхнини по протежението на разрезите е различно за всеки един от тях. Моделът без изглаждане се характеризира с прекъсната проследяемост на участъци, в резултат на липсата на изглаждане на скоростния модел.

Модел_50% се отличава със значително по-малко накъсване на отражателните повърхнини, но тяхната проследяемост е силно затруднена, в резултат от недостатъчното изглаждане на скоростните функции в латерална посока.

Модел_100% се характеризира с подобрена проследяемост на отражателните повърхнини по протежението на целия профил.

За Модела без изглаждане е характерно наличието на нарушения в латералната последователност на отраженията по профила, скъсвания и появата на изкуствени структури, свързани с липсата на изглаждане на скоростното поле на данните, въпреки че сумирането отразява геоложкия характер на профила.



Фиг. 4. Сумиран разрез след предварителна ДКМПС за Модел без изглаждане, Модел_50%, Модел_100%

Модел_50% се характеризира с дадени локални структурни нарушения и влошена проследяемост на отражателните повърхнини, вследствие на неподходящия латерален оператор за изглаждане на скоростното поле на данните. При Модел_100% нарушения в структурата на модела почти липсват.

Разрезите се отличават с относително логично разпределение на отражателните повърхнини, но с определени структурни неточности, получени в резултат на експериментите, проведени с различни латерални оператори за изглаждане на скоростното поле на данните.

Разпределението на полето на скоростите следва характеристиката на отразяващите граници за всички модели, както е показано на фигура 5.

Анализът на получените карти на разпределението на полето на скоростите, след сеизмична томография върху сумирани данни след ДКМПС показва, че Моделът без изглаждане се отличава като неподходящ за извършване на ДКМПС, тъй като процедурата изисква хомогенно поле на скоростта, без наличие на силни контрасти.

Модел_50% се характеризира като по-коректен спрямо първия, но краевите участъци се отличават като по-силно контрастни и точно в тези зони разрезът отстъпва по проследяемост на отражателните повърхнини на разреза, получен с Модел_100%. Поради тази причина и този модел се счита за неподходящ за извършване на ДКМПС. Модел_100% се отличава като най-подходящ за извършване на ДКМПС, тъй като при него отсъстват силни контрасти в полето на скоростите. То се характеризира като гладко и хомогенно, а полученият с него разрез се отличава с висока разрешаваща способност и ясно проследими отражения по протежението на профила. На разреза липсват нарушения, предизвикани от негеоложки фактори, а профилът се отличава със структурна логичност.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За създаването на адекватен и структурно логичен сеизмичен разрез ключова роля има скоростният модел, подбран за извършване на миграционното преобразуване в дълбочинната област. ДКМПС се отличава като силно чувствителна, дори към малки изменения в полето на скоростите. Поради тази причина скоростният модел за дълбочинна миграция следва да бъде внимателно съставен, без наличие на резки изменения в скоростните функции на близки разстояния в латерална посока. За постигане на тази цел в сеизмичните изследвания се прилага оператор за изглаждане на скоростите. При избора на латерален оператор за изглаждане, полученото поле на скоростите отразява в най-голяма степен реалното разпределение на скоростите на сеизмичните вълни в средата. При оптимално изглаждане на полето на скоростите, загубата на възможна полезна информация е минимална, като в същото време в скоростния модел липсват големи резки латерални изменения в скоростните функции.



Фиг. 5. Разпределение на полето на скоростите след сеизмична томография върху сумирани данни след ДКПМС за моделите: Модел без изглаждане, Модел_50% и Модел_100%

ЛИТЕРАТУРА

- Григорова, М., Технология за създаване на скоростни модели за дълбочинна миграция преди сумиране посредством сеизмична томография. Дисертация, 2014,-307с..
- Grigorova, M., The aim of kinematics in 2d land seismic processing data for enhancing signal-to-noise ratio. *Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol*, 2013, 1-2 p.

Landmark, ProMAX Reference Manual, Advanced Geophysical Corporation, 1995, 34 p.

Tsunami Development, Technical Reference Manual. 2009. -16p. www.tsunamidevelopment.com,.

Статията е рецензирана от проф. дгн Стефан Димовски и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ВЛИЯНИЕ НА ОСТАТЪЧНИТЕ СКОРОСТИ СЛЕД ДЪЛБОЧИННА КИРХОФ МИГРАЦИЯ ПРЕДИ СУМИРАНЕ

Мая Григорова

РЕКСИМсеиз ООД, 1680 София, maya.grigorova86@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Много често след извършване на Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране (ДКМПС) в дълбочинните сеизмограми остават некомпенсирани кинематични поправки. В резултат на това е възможно при сумиране на дълбочинните сеизмограми да се откроят зони с влошена проследяемост на отражателните повърхнини. В отделни случаи е възможно дори при адекватен скоростен модел за миграционното преобразуване, получен на базата на итеративното прилагане на сеизмична томография, да се наблюдават известни различия с геоложкия модел. Такъв ефект е възможно да се получи при наличие на сложни геоложки модели, характеризиращи се с появата на разломи или изклинвания на пластовете. За компенсиране на възможни геоложки различия между реалния и съставения скоростен модел, в настоящото изследване е приложена допълнителна кинематична поправка, получена посредством анализ на остатъчните кинематични поправки върху дълбочинни сеизмограми, получени след финалната и терация на ДКМПС.

Ключови думи: Дълбочинна Кирхоф миграция преди сумиране (ДКМПС), Остатъчни кинематични поправки

INFLUENCE OF RESIDUAL MOVEOUT CORRECTIONS AFTER PRE-STACK KIRCHHOFF DEPTH MIGRATION Maya Grigorova

REXIMseis Ltd. 1680 Sofia, maya.grigorova86@gmail.com

ABSTRACT. Normal moveout, typically used to do velocity analysis in seismic data processing, is robust when reflectors are flat and velocity is laterally invariant. However, this method encounters difficulty when reflectors are dipping or velocity varies laterally. Prestack depth migration (PSDM) provides a powerful tool for velocity analysis in complex media. PSDM that can handle dipping reflectors and lateral velocity variations is robust in imaging complex structures. To process data by this method, one often needs to have a more accurate velocity model than may be obtained from simple velocity-analysis methods, such as normal moveout. Meanwhile, PSDM itself is an attractive tool for doing velocity analysis because of its high sensitivity to the velocity model. One approach to migration velocity analysis have been developed is residual velocity analysis (RMO), which is based on residual moveout to measure velocity error.

Key words: Prestack Kirchhoff Depth Migration (PSDM), Residual velocity analysis

Въведение

Дълбочинната миграция се осъществява главно въз основа на скоростно-дълбочинен модел на средата, който е представен от интервалните скорости в дълбочина. При условие, че скоростният модел на средата е определен точно, то тогава и дълбочинната миграция позиционира отразяващите повърхности с висока точност. Поради тази причина, в сеизмичните дейности голямо внимание следва да се обръща на съставянето на скоростния модел на средата, първоначално във времевата област и впоследствие неговото трансформиране и подобряване в дълбочинната област.

Основни моменти в приложението на методиката

Много често, след извършване на ДКМПС в дълбочинните сеизмограми, остават некомпенсирани кинематични поправки. Причината за това е свързана с трансформацията на данните в процеса на миграционното преобразувание, в следствие, на което при сортирането на дълбочинните сеизмограми се наблюдава известно отклонение от първоначално подбраните за извършване на миграцията кинематични поправки. В резултат на това, е възможно при сумиране на дълбочинните сеизмограми да се откроят зони с влошена проследяемост на отражателните повърхнини (Liu, 1997).

За преодоляване на този проблем са използвани различни техники, като най-разпространената до този момент е свързана с детайлизиране на мрежата за извършване на томографията. Този подход, обаче, е свързан с големи изчислителни ресурси и допълнително време за изчисленията (Hilburn, et al., 2014). Като негова алтернатива започва да се прилага подход свързан със създаването на едно направляващо изображение, което служи като ориентир за съставянето на подходяща кинематична поправка. Това изображение най-често е структура, чиято кинематична поправка следва да бъде проследена по целия профил. Целта е да се определи остатъчната кинематична поправка, която да бъде внесена като поправка още преди извършването на сеизмичната томография (Hale, 2009).

Методика на изследването

Целта на настоящия експеримент е да демонстрира как определени неточности в полето на скоростите въздействат на ДКМПС и по какъв начин сеизмичната томография, в комбинация с анализ на остатъчните кинематични поправки, се повлияват от тях.

На фигура 1 е показана схематично последователността от процедури при съставянето на скоростния модел за ДКМПС.



Фиг. 1. Алгоритъм на последователността при съставяне на скоростен модел за дълбочинно преобразувание на сеизмични данни

За целите на изследването изкуствено са създадени аномални участъци в скоростните модели, посредством редукция или завишаване на скоростите в определени области по протежението на профила, като в останалата част от разреза скоростното поле е непроменено, с цел намиране на технологично решение за откриване на аномалиите.

Създадени са три скоростни модела, съдържащи аномални скоростни функции, които изкривяват полето на времето:

- Модел-1 с редуцирани скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ;
- Модел-2 с увеличени скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ.
- Модел-3 без изменения в полето на скоростите.

Полетата на скоростите с така съставените модели са показани на фигура 2.

С така получените от директната трансформация времедълбочина скоростни полета е извършена сеизмична томография, последвана от ДКМПС. Полетата на скоростите след сеизмичната томография са представени на фигура 3.



Фиг. 2. Полета на скоростите на моделите: Модел-1, Модел-2 и Модел-3



Фиг. 3. Полета на скоростите на моделите след сеизмична томография: Модел-1, Модел-2 и Модел-3

От полетата на скоростите след сеизмичната томография може да се забележи, че те са много по-хомогенни и описателни по отношение на структурите, създадени от аномалните скоростни функции, изкривяващи полето на времето.

За компенсиране на възможни геоложки различия между реалния и съставените скоростни модели, в настоящото изследване е приложена допълнителна кинематична поправка. Тя е резултат на анализ на остатъчните кинематични поправки върху дълбочинни сеизмограми, получени след финалната итерация на ДКМПС. Този подход дава възможност интерактивно да бъдат анализирани дълбочинните сеизмограми, като по този начин ясно могат да се откроят недоизправени ходографи, в случай че има такива.

Методът на директния анализ на остатъчните скоростни върху вече мигрираните дълбочинни сеизмограми се отличава като бърз, не изискващ сериозни изчислителни ресурси, но и достатъчно надежден подход.

Диапазонът на остатъчните кинематични поправки е избран в интервала от -300 до 300 s/ft. На фигура 4 е показан анализът на остатъчните скорости за Модел-1 (Модел с редуцирани скорости в скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ).



Фиг. 4. Анализ на разликата в остатъчните кинематични поправки преди (черната крива) и след (бялата крива) използването на сеизмична томография за определяне на скоростта на модела, Модел-1

От анализа на остатъчните скорости на Модел-1, се наблюдава леко изместване на необходимата поправка в горната част на сеизмограмите към нулата, след прилагането на сеизмичната томография. В случая, обаче, то е крайно недостатъчно, въпреки големите остатъчни кинематични поправки, които са приложени. В дълбоките части новият скоростен модел се характеризира с по-ниски скорости, което води до изправяне на ходографите, с поголеми стойности на остатъчната кинематика.

На фигура 5 е показана карта на разпределението на остатъчните кинематични поправки за Модел-1.

От картата на разпределението на остатъчните кинематични поправки върху мигрирани в дълбочинната област данни на Модел-1, се открояват два участъка – единият в горната част на разреза, а другият точно под него в дълбоките отражения. Горният участък може се характеризира с твърде големи отрицателни остатъчни поправки, докато под него, в дълбоките части, характерът на поправката е точно обратен – много големи положителни поправки. Наличието на такива участъци, при условие, че не съществуват геоложки обосновани причини за тях, се счита за сигурен знак, че скоростният модел е неподходящо съставен и вероятно съдържа неточни скоростни функции.



Фиг. 5. Карта на разпределението на остатъчните скорости за Модел-1

На фигура 6 е изобразен анализът на остатъчните скорости на Модел-2 (Модел с увеличени скорости в скорости в интервала от 300 до 500 ОДТ).



Фиг. 6. Анализ на разликата в остатъчните кинематични поправки преди (черната крива) и след (бялата крива) използването на сеизмична томография за определяне на скоростта на модела, Модел-2

При анализа на остатъчните скорости на Модел-2, се наблюдава известно отместване на новия скоростен модел към нулата. За цялостното нулиране на остатъчната кинематика, обаче, в този случай би била необходима огромна остатъчна кинематична поправка и вероятно голям брой итерации на сеизмична томография.

От картата на разпределението на остатъчните кинематични поправки върху мигрирани в дълбочинната област данни на Модел-2, показан на фигура 7, се наблюдава твърде рязка граница между положителни и отрицателни остатъчни кинематични поправки, което е признак за нехомогенност на полето и необходимост от допълнителен брой итерации на процедурите за подобряване на скоростния модел, за евентуалното му изглаждане.

На фигура 8 е показан анализ на остатъчните скорости за Модел-3 (Модел без изменения в полето на скоростите).

На изображението се забелязва подреждане на съвкупността от данни близо до нулата на скалата на остатъчната кинематика. Това се счита за доказателство, че така съставения скоростен модел е коректен и внесената в данните кинематична поправка води до компенсиране на забавянето при регистрацията на данните с отдалечаване от източника (Grigorova, 2015).

На фигура 9 е показана карта на разпределението на остатъчните кинематични поправки върху мигрирани в дълбочинната област данни за Модел-3.



Фиг. 7. Карта на разпределението на остатъчните скорости за Модел-2

Изображението се откроява само с една област с повишена необходимост от остатъчни кинематични поправки в участъка между 420 и 470 ОДТ, което е в границите на допустимата грешка от 0,5%.



Фиг. 8. Анализ на разлката в остатъчните кинематични поправки преди (черната крива) и след (бялата крива) използването на сеизмична томография за определяне на скоростта на модела, Модел-3

Независимо от така създадените, по време на експеримента, несъвършенства в отделни части на моделите, от направеното сравнение между сумираните данни без наличие на остатъчни (допълнителни) кинематични поправки и след прилагането им, ясно се забелязва сериозното подобрение в качеството на получения резултат, след прилагане на остатъчните кинематични поправки в областите от разрезите, където поправката е била близка до нулата. В останалите части от дълбочинните изображения резултатите са неубедителни, което поставя под въпрос достоверността на изходните скоростни модели (Григорова, 2014).



Фиг. 9. Карта на разпределението на остатъчните скорости за Модел-3

Заключение

При наличие на силно изкривяване на полето на времето, предизвикано от допусната грешка при анализа на скоростното поле, измененията, които настъпват в данните могат да доведат до структурни изменения от геоложки характер. В такива случаи остатъчните кинематични поправки имат ключова роля за локализиране на аномалиите върху дълбочинните сеизмограми, като същевременно подобряват качеството на сумиране при интерактивната оценка.

Литература

- Hilburn, G., He, Y., Yan, Z., Sherrill, F. High-resolution Tomography Using Offset dependent Picking and Inversion Conditioned by Image-guided Interpolation, *76th EAGE Conference & Exhibition 2014 Amsterdam RAI, The Netherlands*, 2014, - Article № We G103 05.
- Hale, D. Image-guided blended neighbor interpolation, CWP Report 634, 2009, 13 p.
- Liu, Z. An approach to migration velocity analysis, Geophysics, 62,. 4, 1997, 1238–1249 p.
- Григорова, М. Технология за създаване на скоростни модели за дълбочинна миграция преди сумиране посредством сеизмична томография, Дисертация, 2014, 307 с.
- Grigorova, M. Error recognition in velocity model building for prestak kirchoff depth miration using rmo analysis, *GEOBALCANICA, Skopie*, 5-7 June, 2015. – in print.

Статията е рецензирана от проф. дгн Стефан Димовски и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ОЦЕНКА ОПАСНОСТТА ОТ ВТЕЧНЯВАНЕ НА ХВОСТА ОТ ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ «ЛЮЛЯКОВИЦА» - ОПРЕДЕЛЯНЕ ДИНАМИЧНАТА ЯКОСТ НА ХВОСТА

Стефчо Стойнев, Антонио Лаков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; stoynev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Направени са изследвания за физикомеханичните свойства на хвоста от стената на хвостохранилище "Люляковица. Въз основа на анализа на данните за зърнометричния състав и плътностните характеристики на хвостовия материал са избрани две плътностни състояния, които са характерни за отделните зони на разреза. Проведени са динамични триаксиални изследвания на проби за всяка една от избраните плътности. За всяка една от тях е построена зависимостта между коефициента на цикличните напрежения $\sigma_{dp}/2\sigma_3$ и броя на колебанията N, което представлява паспорт на динамичната якост на хвоста за съответната плътност, изразяваща граничното напрегнато състояние при динамични въздействия.

ESTIMATION OF THE LIQUEFACTION HAZARD OF THE TAILINGS FROM LYULYAKOVITZA TAILINGS DAM – DETERMINATION OF THE DYNAMIC STRENGHT OF THE TAILINGS

Stefcho Stoynev, Anotnio Lakov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; stoynev@mail.bg

ABSTRACT. The tailing materials of the tailing dam wall "Lyulyakovitza" were studied in order to identify their physical and mechanicl properties. Based on the grainsize distribution and in-situ the dry density two dry density values were identified as characterisitic for the different zones of compaction of the profile the wall. For each of them a series of specimens were tested under triaxial dynamic compression conditions and the relationships between the cyclic stress ration $\sigma_{dp}/2\sigma_{3}$ and the applied number of cycles N at yield were derived, that are considered as limit state curves of the tailings under dynamic conditions.

Въведение

Дългосрочните планове за развитие на рудник Асарел изискват да се извърши надграждане на стената на хвостохранилище "Люляковица" до кота 900. Един от анализите, който трябва да бъде направен при изследванията за устойчивостта й, е свързан с оценка на опасността от втечняване на хвостовия материал при сеизмични въздействия. Най-достоверният от редицата методи, които съществуват за оценка опасността от втечняване на водонаситени слаби почви, са аналитичните методи. Те се основават на сравнение на срязващите напреженията, индуцирани в почвата от сеизмично въздействие с динамичната якост на водонастената почва, определени в лабораторни условия чрез циклични изпитвания. Най-често тези изпитвания се провеждат в апарати за просто срязване и триаксиални апарати, откъдето носят наименованията си двата основни метода за лабораторни изследвания – cyclic simple shear test u cyclic triaxial compression test.

Определянето на динамичната якост на хвоста при настоящото изследване е извършено чрез циклични триаксиални опити, като пробите от хвоста са изследвани при две степени на уплътненост, които са най-характерни за неговото състояние.

Характеристика на хвоста

Стената на хвостохранилището се изгражда чрез намиване на отпадъка от обогатителната фабрика. Основата на стената е каменно-насипна с кота на короната 750 m. Над тази кота надграждането на стената е изпълнявано чрез циклониран хвост (до кота 793) и чрез директно намиване на пулпа по плажа, без частично предварително хидроциклониране на хвоста. Веднъж годишно се изгражда дига с височина 3,0 m, върху която се монтира намивният тръбопровод. За изграждане на дигата се използва хидроциклониран хвост, добит от към въздушната страна, непосредствено до последната намивна дига с помощта на хидроциклони, захранени директно от намивния пулпопровод. Предвижда се, тя да бъде надградена до височина 190 m (до кота 829).

Извършените сондажни, пенетрационни и лабораторни изследвания (Стойнев (ред.), 2014) показват, че над кота 782 хвостът се характеризира със сравнително ниски плътностни характеристики – обемната плътност на скелета се изменя от 1,51 g/cm³ до 1,88 g/cm³, средна стойност 1,62 g/cm³ (фиг. 1), а относителната плътност, определена от пенетрационните изследвания, се изменя от 0,26 до 0,65 (рахъл до средно сбит хвост).



Фиг. 1. Изменение на обемната плътност на скелета в дълбочина в сондаж MC3

Обработените данни за съдържанието на финните фракции в състава на хвоста (фиг. 2.) показват една значителна пространствена нееднородност по отношение на състава му. Независимо, че като класификация, преобладаващо хвоста се определя като "глинест пясък", съдържанието на финните фракции с d<0,075 mm се изменя от 20% до повече от 60%, като практически няма закономерност в разпределението им в стената.



Преминала фракция d<0,075 mm, %

Фиг. 2. Съдържание на финни фракции с d<0,075 mm в хвоста в дълбочина в сондаж MC3.

За определяне на естествената степен на уплътненост на хвоста, за три броя проби са определени минималната и максималната стойност на обемната плътност на скелета. Минималната стойност р_{dmin} е определена чрез свободно насипване на пробата във въздушно сухо състояние, а максималната стойност ρ_{dmax} е определена чрез уплътняване по метода Проктор. Получените стойности за ρ_{dmin} се изменят в границите 1,25÷1,31 g/cm³ (средна стойност 1,27 g/cm³), а тези за ρ_{dmax} - в границите от 1,98÷ 2,02 g/cm³ (средна стойност 2.01 g/cm³). Тези резултати, както и стойностите от обемната плътност на скелета ρ_d на пробите, показват, че средната стойност на относителната плътност I_D за хвоста е 0,46. Това го характеризира като средно сбит (I_D=0,33÷0,66), като преобладаващата част от пробите имат относителна плътност в зоната на долната част на интервала.

Условията на залягане, зърнометричният състав, плътностното му състояние и хидрогеоложките условия на хвоста, изграждащ стената на хвостохранилището над кота 782, се характеризират със следните особености, които предполагат възможност за втечняването му при сеизмични въздействия, а именно:

- наличие на несвързани почви, дребнозърнести, с високо съдържание на прахова и глинеста фракции;
- рахло до средно сбито състояние на хвоста в тази зона;
- водонаситено състояние на хвоста под кота 802.

Средните стойности на определените физикомеханични характеристики, както и границите на тяхните изменения, са посочени в таблица 1.

Под кота 782 в разреза на стената преобладават поуплътнени зони, като обемната плътност на скелета на хвоста се изменя от 1,51 g/cm³ до 1,89 g/cm³ (средна стойност 1,69 g/cm³), а относителната плътност I_D, определена от пенетрационните изследвания, се изменя от 0,78 до 0,82 (сбит хвост). Данните от лабораторните изследвания на земни проби от този дълбочинен интервал. показват, че хвостът се намира в средно сбито и сбито състояние. Въпреки, че хвостът от тази зона е водонаситен, по-високата плътност и по-високото съпротивление на пенетрация индикират намалена опасност от втечняване.

Методи за определяне на динамичната якост на несвързани почви в лабораторни условия

Цикличното просто срязване (cyclic simple shear test) найдобре възпроизвежда естественото напрегнато състояние. За първи път е използвано от Seed, Peacock (1971). Изпълнението му, обаче, е свързано с редица проблеми (Seed et al., 1982; Hird, Hassona, 1990), свързани с:

- подготовката на представителни образци;
- реализирането на еднаква срязваща деформация в различните точки на образеца;
- реализирането на еднакво натоварване върху образеца;
- отстраняването на условията за концентрация на напрежения в отделни части от образеца.

Цикличните триаксиални изследвания (cyclic triaxial compression test) са по-широко използваният метод за определяне напреженията, при който възниква втечняване. Първата методика за провеждане на динамични изпитвания в триаксиални апарати е разработена от

	мин.	сред- но	макс.		
Водно съдър	жание	Wn, (%)	5,02	15,47	29,50
Обемна плът	ност	ρ _n (g/cm ³)	1,80	1,99	2,20
Специфична	плътност	ρ _s (g/cm ³)	2,68	2,77	2,88
Обемна плът скелета	ност на	ρ _d (g/cm ³)	1,51	1,62	1,88
Порен коефи	циент	е	0,49	0,72	0,87
Степен на во	донасищане	S _R (%)	63,00	89,00	99,00
		% Чакъл	-	0	-
	Зърнометри	% Пясък	-	51	-
	чен състав	% Прах	-	38	-
		% Глина	-	11	-
БДС	Граници на пластичност	W∟ (%)	17,70	20,11	26,80
		W _P (%)	11,30	15,57	21,78
		I₽ (%)	0,74	4,54	9,80
		I _C (%)	-4,52	0,88	5,86
	CU		3,80	21,07	39,80
зане	приаксиален Опит	φ´ (°)	26,00	27,67	29,00
ряз	UU	c (kPa)	-	3,00	-
т на с	триаксиален опит	φ´ (°)	-	1,00	-
Якос	СD опит на	c (kPa)	6,64	11,30	16,80
	срязване	φ´ (°)	23,04	31,59	35,54
ино	100 kPa	M100 (kPa)	34,78	53,65	65,57
преси	200 kPa	M200 (kPa)	72,20	96,71	112,68
Kow	300 kPa	M300 (kPa)	117,65	126,95	143,20

Таблица 1. Обобщена таблица с физико-механичните показатели от хвоста

Seed and Lee (1966). По-късно, изследвания върху динамичните триаксиални изпитания са извършвани от десетки автори. Всички те използват за основа предложената от Seed and Lee методика, като една значителна част от разработките са насочени към изучаване на факторите, влияещи върху резултатите от изпитанията. По-съществени в методологично отношение са разработките на Tatsuoka, Silver (1981), Seed, Anwar (1986), Brandon et al. (1991), Tatsuoka et al. (1986), Alarcon-Guzman et al. (1988), Ishihara (1993), Hyodo et al. (1994).

Като характеристика на напреженията, предизвикващи втечняване при триаксиалните изследвания се използва отношението $\sigma_{dp}/2\sigma_3^l$ - коефициент на цикличните напрежения. Стойността на това отношение отразява условията в триаксиалната камера, при които възниква втечняване. Тези условия са различни в сравнение с естественото напрегнато състояние τ_h/σ_v^i , което се използва при просто срязване. Поради тази причина, големината на цикличните напрежения, предизвикващи втечняване, определени по двата метода, ще имат

различни стойности. Връзката между двата параметъра, предложена от Seed and Peacock (1971), е следната:

 (τ_h/σ_v^i) просто срязване = C1($\sigma_{dc}/2\sigma_3$)триаксиално срязване ,

където: С1 е корекционен коефициент за разликата между естественото напрегнато състояние на масива и условията в триаксиалната камера. Числената му стойност зависи от показателя $K_0 = \sigma_3/\sigma_1$, като главните напрежения σ_1 и σ_3 са определени "in situ". При насоящето изследване е използвана стойността му, предложена от Seed (1979) Cr = 0,63.

Стойностите на цикличните напрежения, предизвикващи втечняване при експерименталните изпитвания, са с 10% по-високи от естествените. Причина за това е пространственият характер на сеизмичното въздействие, в въздействие сравнение С еднопосочното при Отчитането експерименталните изследвания. на пространствения характер на сеизмичното въздействие, при определяне опасносттта от втечняване, се извършва чрез намаляване на експерименталните резултати с 10%:

$(\tau_h/\sigma_v{}^i)_{deйств.}=0,9.(\tau_h/\sigma_v{}^i)_{npocto cpязване}=C_{1.}(\sigma_{dc}/2\sigma_3)_{триакс.cpязване}$

Резултатите от динамичните триаксиални изследвания се влияят от множество фактори. Те могат да бъдат обединени в две групи:

- Фактори, свързани с възможностите на използваната апаратура – система за подаване на натоварването (пневматична или електрохидравлична), критерии за изравняване, тип на връзките на натоварващата ос, системите за контрол на напреженията, на порния натиск, на обемните деформации, на степента на водонасищане;
- Фактори, свързани с процедурата на изпитване подготовката на образците за изследване, приложените странични напрежения, формата и характера на цикличното натоварване, честотота на цикличния товар, размерите на изследвания образец.

Изследванията на Seed (1976) показват, че за някои от тях (например подготовката на образците), влиянието е толкова силно, че разликите в получените резултати могат да достигнат 100%.

Определяне на динамичната якост на хвоста

Лабораторното определяне на условията за втечняване на пясъчни образци е извършено чрез циклични триаксиални изследвания (cyclic triaxial compression test). Експерименталните изследвания са извършени върху интегрална проба от хвоста, която е характерна за състава на материала от стената на хвостохранилището. Зърнометричният състав на изследваната проба е посочен на зърнометричната крива (фиг. 3). Изследванията са проведени за две плътностни състояния на материала – $\rho_d = 1,55$ g/cm³ и 1,65 g/cm³. Тези две плътности са характерни за зоната над кота 782, която, според резултатите от анализа на опасността от втечняване от полевите динамични пенетрационни изследвания, е с вероятност за втечняване. В дълбочина плътността на хвоста се повишава и практически не съществува опасност от втечняването му под кота 782.

Динамичната якост на водонаситения хвост е изследвана в триаксиален апарат DCM-275 на фирмата "Seiken", Япония. Динамичният девиатор σ_{dp} е приложен по надлъжната ос на образеца. Образците са с размери 10 ст височина и 5 ст диаметър. Цикличното натоварване е синусиодално, с честота 2 Нг. То е приложено след изотропна консолидация, при всестранно ефективно напрежение σ_1 = σ_3 = 300 kPa и при затворена дренажна система (консолидирано-недренирано изпитване). Приложената методика е посочена в Константинов, Стойнев (1992), Стойнев, Константинов (1991) и Стойнев и др. (2003).

Изследването включва следните основни етапи:

- подготовка на образеца състои в изграждане на образец с предварително зададена плътност. За целта е използван т.н. "метод на утаяването", предложен от Ishihara, Ansal (1982) и конкретизиран от Ansal (1984).
- водонасищане на образеца то е извършено при • хидростатично натоварване $\sigma_3=300$ kPa. Хидростатичното натоварване се увеличава от 0 kN/m² до посочетана стойност на степени от 50 kN/m², като паралелно в образеца се създава обратно налягане с големина 0.90-0.95 от хидростатичното. След достигане на зададеното изчакано пълно водонасищане. е σ3. Необходимият градиент се задава така, че да надвишава началния градиент на филтрация на материала, като същевременно не ce предизвиква сифузионно изнасяне на финозърнестата фракция. Критериите за пълно водонасищане са два - задържане на постоянна стойност на порния натиск след затваряне на дренажната система, или метод "B-check" на Bishop (Bishop, 1962). Образецът се счита за водонаситен, ако при увеличаване на налягането в камерата със 100 кРа, обратното налягане в образеца (back pressure) се увеличи най-малко с 95 кРа.
- консолидация напълно водонаситените образци разлика консолидират при между хидростатичното налягане и обратното налягане в образеца (изотропна консолидация), равна на товар. Τя се постига геоложкия чрез стъпаловидно увеличаване на хидростатичното налягане през 50 kN/m². Критериите за край на филтрационната консолидация са прекратяването на вертикалните деформации (<0.001 mm/ 10 min) и запазване на нулева стойност на порния натиск след затваряне на дренажната система (<10 Pa/10 min).
- циклично натоварване прилага се след приключване на филтрационната консолидация и затваряне на дренажната система (консолидирано-недренирано изпитване). То е знакопроменливо, с единична амплитуда одр по

направление на оста на образеца. Проведените изследвания са при честота 2 Нг. В процеса на циклично натоварване е извършвана перманентна регистрация на стар, на двойната аксиална деформация DA и на порния натиск U в образеца. След N брой колебания настъпва т.н. "начално втечняване" на образеца. Критерият за начално втечняване е достигане на порния натиск U в образеца до първоначално ефективно странично напрежение или достигане на DA до 10 %. За получаване на статистически значими резултати са направени изследвания върху паралелни образци при 6-7 стойности на dp, които са подбрани така, че втечняване да настъпи при стойности на N от 3-4 до 6000 цикъла.

Таблица 2.

Физикомеханични свойства на изследваната проба от хвоста и резултати от динамичните триаксиални изпитванията

А. Физични показатели.

Nº	Показател	Означение	Стойност
1	Специфична	$ ho_{s}$, g/cm 3	2,70
2	Максимална обемна плътност на скелета	Pdmax, g/cm ³	1,69
3	Минимална обемна плътност на скелета	$ ho_{dmin}$, g/cm 3	1,41
4	Водно съдържание	Wn, %	18,5
		Пясък, %	90
5	зърнометричен	Прах, %	10
	сьстав	Глина, %	0
6	Обемна плътност на скелета	$ ho_{d}$, g/cm ³	1,55÷1,65

Б. Зависимост $\sigma_{dp} / 2\sigma_{3^{i}} = f(N)$.

ρ _d = 1,55 g/cm ³		ρ_{d} = 1,65 g/cm ³	
N	$\sigma_{dp}/2\sigma_{3^{i}}$	Ν	$\sigma_{dp}/2\sigma_{3^i}$
7	0,234	5	0,278
16	0,195	6	0,265
37	0,171	10	0,24
64	0,159	24	0,215
448	0,149	120	0,188
2583	0,142	538	0,18
-	-	4980	0,17

Честота на натоварване - 2 Hz;

N – брой цикли за начално втечняване;

σ_{dp} / 2σ_{3ⁱ} – коефициент на цикличните напрежения.

Резултатите от изследването се отразяват в координатна система $R_L = \sigma_{dp}/2\sigma_{3^l} = f(lgN)$. Плавната крива, съединяваща отделните точки, за които е изпълнено условието $I_D =$ const, се нарича паспорт на динамична якост и изразява граничното напрегнато състояние.



фиг. 3. Зърнометричен състав на изследвания хвост.



Фиг. 4. Зависимост между коефициента на цикличните напрежения σ_{dp}/2σ₃' и броя на колебанията N за хвост с обемни плътности на скелета ρ_d=1,55 g/cm³.и ρ_d=1,62 g/cm³

Зависимостта R_L = f(lgN) се описва с уравнение на съставна хипербола от вида:

 $R_L = R_{L,\infty} + A.N^{-b}$,

където:

R_{L,∞} - съпротивление при неограничен (безкраен) брой колебания; А и b са емпирични коефициенти, зависещи от състава и състоянието на хвоста.

Граничните условия, които се определят от асимптотата на хиперболата, имат определен физически смисъл: когато N клони към 0 то съпротивлението срещу втечняване клони към безкрайност, и обратно, при достатъчно голям брой колебания (N клони към безкрайност), съпротивлението срещу втечняване остава практически постоянна величина. Определянето на параметрите на уравнението еднозначно определя RL,... Числено тя се изразява чрез онзи коефициент на цикличните напрежения, който не предизвиква втечняване на хвоста, тоест от вертикалната координата на асимптотата на уравнението.

Резултатите от проведените изследвания при двете плътностни състояния са посочени на таблица 2 и фигура 4.

Определената динамична якост на хвоста при двете плътностни състояния дава възможност да се извърши анализ на опасността от втечняване, чрез използване на аналитичните методи и въз основа на разчетните характеристики, получени от сеизмичното райониране на площадката.

Литература

- Константинов, Б., С. Стойнев. Протичане на водонаситени пясъци (експеримент и прогноза). -*Строителство*, 3-4, 1992. 24-27
- Стойнев, С., Б. Константинов. Динамична (сеизмична) устойчивост на водонаситени пясъци. - Год. на МГУ, 37, 3, 1991. - 79-86.
- Стойнев, С., Б. Константинов, А. Лаков. Върху естествената структура на водонаситени прахови пясъци. Иновации в маркшайдерството и геотехниката, Сб. Доклади от X Юбилейна Национална маркшайдерска конференция, Варна, 2003.
- Стойнев, С. (ред.). Детайлно микросеизмично райониране и определяне на проектните сеизмични характеристики на хвостохранилище "Люляковица". Доклад на "МГУ Инженеринг", Фонд "Асарел" АД, 2014.
- Alarcon-Guzman, A., G. Leonards, J. Chameau. Undrained monotonic and cyclic strength of sands. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 10, 1988. -1089-1109.
- Ansal, A. Final Report for Task Group on Standartizion of Dynamic Testing Pressures for UNDP/UNESCO. Project on Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region, Turkish

National Committee on Earthquake Engineering, Istanbul, 1984. - 32.

- Bishop, Alan W. Measurement of soil properties in the triaxial test. London : E. Arnold, 1962,
- Brandon, T., G. Clough, P. Rahardjo. Fabrication of Silty Sand Specimens for Large and Small scale Tests. G eotechnical Testing Journal, Vol.14, No 1, 1991. - 46-55.
- Hird, C., F. Hassona. Some factors affecting the liquefaction and flow of saturated sands in laboratory tests. Engineering Geology, vol. 28, No.1—2, 1990. - 149-170.
- Hyodo, M., H. Tanimizu, N. Yasufuku, H. Murata. Undrained cyclic and monotonic triaxial behavior of saturated loose sand. Soils and Foundations, Vol. 34, No. 1, 1994. 19-32.
- Ishihara, K. Liquefaction and flow failure during earthquakes. Geotechnique, Vol. 43, No. 3, 1993.. - 351-415.
- Ishihara, K., A Ansal. Dynamic Behavior of Soils, Soil Amplification, and Soil Structure Interaction. Final Report for WED, UNESKO Report for the Project on Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region, UNESKO, Paris, Vol.4 1982. - 125.
- Seed, H. Some Aspects Of sand Liquefaction under Cyclic Loading. Proceedings, Conference on Behavior of Offshore Structures, Norway, 1976.
- Seed, H.B., "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 105, No. GT2, 1979, p. 201-255.
- Seed, H., W. Peacock. Test Procedures for Measuring Soil Liquefaction Characteristics. Journal of the soil mechanics and foundations division, ASCE, Vol. 97 SM8, 1971.
- Seed, H., R. Sukhmander, C. Chan, P. Vilela. Considerations in Undisturbed Sampling of Sands. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Feb. 1982, GT2, 1982. -265-282.
- Seed, H., H. Anwar. Development Of a Laboratory Technique for Correcting Results of Undrained Triaxal Shear Tests on Soil Containting Coarse Particles for Effects of Membrane Compliance. Research Report No. SU/GT/86-02, Stanford University, 1986.
- Tatsuoka, F., M. Silver. Undrained stress- strain Behavior of Sand under irregular loading. Soil and Foundation, Vol.21, No.1 1981. - 51-66.
- Tatsuoka, F., K. Ochi, S. Fujii, M. Okamato. Cyclic Undrained Triaxal and Torsional Shear Strength of Sands for Different Sample Preparation Methods. Soil and Foundation, Vol.26, No 3, 1986. - 23-41.

Статията е рецензирана от доц. д-р Николай Стоянов и препоръчана за отпечатване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".

ГЕОТЕХНИЧЕСКИ УСЛОВИЯ НА ТУНЕЛ "КРЕСНА" ОТ АМ "СТРУМА"

Антонио Лаков, Стефчо Стойнев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; tony_lakov@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Направен е преглед на отделните елементи, определящи геотехническите условия в участъка на тунел Кресна(част от изграждането на AM "Струма"): геолого-тектонски строеж, сеизмотектонски условия, хидрогеоложки условия, инженерногеоложки свойства на скалния масив. По-детайлно са разгледани инженерногеоложките свойства на разновидностите, изграждащи скалния масив. Характеристиката им е направена на базата на качествени оценки (показателя RQD – показателя за качеството на скалата и GSI – геоложки индекс за якостта на масива)и количествени оценкиот лабораторните и полевите (геофизични и еластиметрични) изследвания. Дадена е обща характеристика на хидрогеоложките условия и са оценени очакваните водопритоци в тунела. Установено е аномално напрегнато съсотяние на масива. Направени са общи изводи и заключения за условията на проектиране и строителство.

GEOTECHNICAL CONDITIONS OF KRESNA TUNNEL FROM STRUMA HIGHWAY

Anotnio Lakov, Stefcho Stoynev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; tony_lakov@abv.bg

ABSTRACT. A review of thegeological and tectonic structure, the seismicq hydrogeological and engineering geological conditions conditions of the rockmass was carried out as elements of the geotechnical conditions of the Kresna tunnel from the Struma Highway. More detailed characterisitcs are made to the engineering properties of the identified rock types. It is based on qualitative parameters as RQD and GSI and quantitative parameters based on the results from the laboratory and fireld (geophysical and elastmetric) tests. General description of the hydrogeological conditions and the estimated in-flow in the tunnel is presented. Abnormal in-situ stress state of the rockmass is established. General conclusions for the design and construction are presented.

Въведение

Завършването на АМ "Струма" е свързано с преминаването й през един от най-сложните участъци – Кресненското дефиле. В проектното решение е предвидено това да стане чрез тунел, дълъг повече от 15 km. От особена важност при проектирането, а в последствие при строителството на тунела, са геотехническите условия по трасето. Извършените през 2014-2015 г. на етап Идеен Проект проучвателни дейности по трасето на тунела включват: структурно-геоложка картировка, сеизмично профилиране по оста на тунела, прокарването на 17 бр. вертикални, наклонени и хоризонтални сондажи с обща дължина от 1430 m; сеизмичен каротаж, еластиметрични изследвания, нагнетяване тип Люжон, водоваливания и водочерпене и хидроразрив в сондажите; лабораторни изследвания на скални и земни проби. Обощените резултати от тези изследвания са представени в настоящата статия (Стойнев, С., 2015).

Геолого-тектонски строеж

Трасето на тунела преминава изцяло през Кресненския хорст, който е част от южния (Беласишко-Огражденски) блок на Крайщидната морфоструктурна зона. Геоложкият разрез в северната и централната част от тунела е сравнително еднообразен - изграден е от палеогенски гранитоиди (фиг. 1 и 2) (Желев и др., 2014). Те са представени от два плутона – Крупнишки и Севернопирински. Крупнишкият плутон от своя страна включва две петрографски разновидности (наставки, фази). Първата е изградена от дребнозърнести биотитови гранити, а втората – от порфирни биотитови гранити. И двете наставки се разкриват в северната част на хорста. Севернопиринският плутон е представен от еднообразни биотитови гранити с преходи до гранодиорити. Те изграждат по-голямата част от хорста.

За разлика от севернната и централната част на хорста, южната му част е с по-разнообразен литоложки състав разкриват се метаморфитите на Малешевския комплекс, представени от двуслюдени гнайси и плагиогнайси, с тела от амфиболити и серпентинити. Те са процепени от Будилските метагранитоиди, включващи биотитови и двуслюдени метагранитоиди, включващи биотитови и двуслюдени метагранити. Тези метаморфити са пресечени от щокообразни тела и дайки от олигоценски дацити, обединени в Равнашкия субвулкански комплекс. В найюжната част на трасето на тунела се разкриват наслагите на Санданската свита (неоген). Те са представени от латерално съчленяващи се алувиални и пролувиални наслаги. Алувиалните седименти включват добре споени конгломерати и пясъчници, а пролувиалните са представени от брекчи с песъчливо-глинеста спойка.

В тектонско отношение трасето на тунела пресича или върви успоредно, но в близост до множество разломи, които по посока се отнасят към две групи: Краищидна (150-170°) и Твърдишка (40-60°). Разломите от първата група



Фиг. 1. Тектонска карта на района на Кресненското дефиле (по Милованов и др., 2009, с допълнения).



Фиг. 2. Геоложки разрез през трасето на тунела.

преобладават и принадлежат на един разломен сноп с широчина около 5 km, означаван като Струмска разломна зона. Трасето на тунела при Кресна върви успоредно на него, като на места пресича някои от сателитните му илиоперяващи разломни структури. Втората разломна група обуславя напречното разчленяване на участъка. Най-ясно тя е изразена в Крупнишката разломна зона, по която е оформен и Ораново-Симитлийският грабен.

Сложна мозайка от неотектонски структури се наблюдава и в южния край на участъка (западно от Кресна, при изходите на тунелите). Тук те имат характер на разседи с потънали южни крила, оформящи границата между Кресненския хорст и Струмския грабен. Само при изпълнената геоложка картировка на участъка са установени повече от 65 разломни нарушения, като част от разломните нарушения са с ориентация съвпадаща с оста на тунела (Стойнев, 2015).

Сеизмотектонски условия

Районът на Кресненското дефиле е разположен в една от най-сеизмично активните области от тази част на Балканския полуостров. Тунелът на Кресна попада в Кресненската сеизмична зона, като пресича основните активни структури, които са генерирали силни земетресения. Тази зона е известна с най-силното земетресение в Европа през последните 200 години – 04.04.1904г. с магнитуд М=7,5 според изчисленията в Пасадена (САЩ), но съществуват данни за възможни две последователни събития с магнитуди, съответно 7,2 и 7,8. Вероятно хипоцентрите на главните събития, както и афтершоковата серия през следващите две години, са били свързани с регионалния и много активен съвременен Крупнишки разлом.(Shanov, Dobrev, 2000).

Съвременните сеизмотектонски условия в зоната на тунела се определят основно от два разлома, определящи се като активни - Крупнишки разлом и Яворовски разлом. (Шанов и др., 2009).

<u>Крупнишкият разлом</u> пресича трасето на магистрала "Струма", точно пред северния вход на тунела. Той е система от разломни сегменти с преобладаващо направление СИ-ЮЗ (N 50-60°) и затъващи с ъгъл 50-62° на СЗ (Vrablianski, 1974). Сеизмотектонските изследвания по дължината на разлома не позволяват да се съди за магнитудите на силните земетресения, които могат да се генерират от Крупнишкия разлом. Преместванията по него, обаче, красноречиво показват, че магнитуди над 7,0 могат да се генерират, което и става през 1904 г.

<u>Яворовският разлом</u> пресича трасето на тунела в южната му част. Разломът, или по-точно група от разломни сегменти с направление СЗ – ЮИ, преминава североизточно от г. Кресна, но е покрит от по-млади, кватернерни седименти. При геоложката картировка по трасето на тунел "Кресна" също са открити разломни повърхности в зоната, където трасето пресичат този разлом. Той не е проучван специално за съвременна активност, но около него има концентрация на сеизмични събития. Не е изяснена реалната дължина на активната част на разлома, но при картирана дължина около 15 km на най-дългия сегмент, е изчислена средната стойност на очакваното максимално земетресение Ms=6,2 или Mw=6,13. Подобно събитие може да доведе до разместване по разлома с амплитуда около 26 cm при хипотеза за дълбочина на огнището на 15 km.

Хидрогеоложки условия

Трасето на тунел "Кресна" преминава през 4 водоносни комплекса. Първият водоносен комплекс е формиран в гранитните плутони, вторият в Малешевските метаморфити, третият в Равнешките дацити и четвъртият в Будилските гранитогнайси(фиг. 2). Скалните формации от състава на тези водоносни комплекси са в различна степен напукани и вторично променени, което определя и забележими различия във водопроницаемостта, респ. значителна филтрационна нееднородност на масива. Коефициентът на филтрация в различните водоносни комплекси варира между 10-1 и 10-4m/d. Следва да се отбележи, че в масива е възможно да се пресекат и водопроводящи разломни зони с много висока водопроницаемост (например, в дацитовия коплекс е получена необичайно висока стойност на коефициента на филтрация - около 2 m/d).

Нивото на подземните води е установено на дълбочина, варираща в много широки граници - от 10 m до повече от 150-180 m. В една значителна част от трасето на тунела (в интервали с обща дължина 10,7 km) дебелината на водонаситената зона в скалния масив над свода на тунела е много голяма – в диапазона от 50-60 до 250-270 m, което определя значителен хидростатичен натиск върху тунелните изработки.

Подземните води в района на тунел "Кресна" са насочени генерално от високите части на магмено-метаморфния водоносен комплекс към р. Струма. В регионален план подземният поток изглежда цялостен, но в локален мащаб съществуват хидравлично несвързани участъци и зони, обусловени от наличието на много слабопроницаеми или практически непроницаеми пространства в скалния масив.

Относително по-високата водопроницаемост на скалния масив и по-големите на места хидравлични градиенти са предпоставка да се очаква сравнително по-висок водоприток при изграждането на тунел "Кресна". Прогнозни изчисления показват, че средният единичен водоприток е 0,74 (m3/d)/m ≈ 0,0085 l/s на л.м. Между отделните участъци разликите са големи - от 0,04 до 2,1 (m3/d)/m, което се дължи преди всичко на големите различия в дебелината на водоносните комплекси и в големината на напорния градиент.

Инженерногеоложки свойства на скалите

При настоящото изследване в зоната на тунела са диференцирани следните инженерногеоложки скални разновидности (ИГР):

- ИГР 2 Крупнишки гранити (KgPg3);
- ИГР 3 Севернопирински гранити (NpgPg3);
- ИГР 4 Малешевски метаморфити (MIPt3);
- ИГР 5 Будилски гранитогнайси (BdmgPt3-Pz);
- ИГР 6 Равнашки дацити (RvdPg3).

Инженерногеоложката характеристика на техните свойствата е направена на базата на две групи показатели:

- Качествени показатели за свойствата на скалния масив:
 - RQD показател за качеството на скалата;
 - ✓ GSI геоложки индекс за якостта на масива.
- Количествени показатели за свойствата на скалния масив, основани на резултатите от лабораторни и полеви изследвания.

Определяне на RQD

Показателят RQD е определен на базата на общоприета методика и представлява отношението (в %) на общата дължина на здравите скалните късове от сондажната ядка с височина над 10 сткъм общата дължина на рейса на сондиране. При неговото определяне не са вземани предвид късовете, отделени по техногенни пукнатини. В тектонските или милонитни зони на пълно стриване на скалите, стойности за RQD не са определяни. Доколкото RQD е използван като основен показател за характеризиране на структурната нарушеност на скалите,
за всеки сондаж неговата стойност е определена като средно тежестна по отношение на дължината на рейсовете за следните условия:

- средна стойност за скалния масив за цялата дълбочина на сондажа, преминаваща в скални разновидности;
- средна стойност за скалния масив за зоната на тунела.

Получените средни резултати за поделените ИГР са представени в таблица 2.

Определяне на GSI

Показателят GSI е качествена характеристика на масива, определяна по стандартна скала предложена от Marinos, Hoek (2000), като участващите в нея основни характеристики са степен на напуканост и блоковост на масива (по вертикалната скала) и характер и състояние на пукнатините между блоковете (по хоризонталната скала). Доколкото в оригиналния вид на скалата тези показатели се определят чисто визуално и експертно, в настоящата разработка е използвана модифицирана скала за GSI (Sönmez, Ulusay, 2002), където отделните характеристики се определят по числени процедури.

Степента на напуканост на масива е представена от показателя SR (Strucutral Rating – структурен коефициент), като той се изчислява количествено по данни за показателя Jv (брой пукнатини в 1 м³ от скалния масив). Определянето на този показател изисква познаване на системите пукнатини в масива и тяхната средна гъстота. Тъй като диференцирането на групите пукнатини по извадената ядка не е възможно, определянето на този показател по данни от RQD е направено по следната формула (Palmstrom, 2009):

 $RQD = 110 - 2,5 J_V$

Преизчислената обратна връзка между показателите е:

 $J_V = (110 - RQD)/2,5$

Определянето на показателя SR в посочената модифицирана скала става по формулата:

 $SR = -17.5 \ln(J_V) + 79.8$

Доколкото определянето на SR е свързано с поредица косвени (емпирични) преизчисления, в крайните резултати се установяват някои особености, които трябва да се имат предвид при тяхната интерпретация. За граничните стойности на RQD=0 и RQD=100%, съответните стойности на JV са съответно Jv=13,4 и Jv=48,4. Това ограничава стойностите на GSI в границите от около 10 до около 65-70, като основно води до подценяване на качеството на масива при по-високите стойности на RQD. В този смисъл направените по-долу оценки за GSI имат консервативен характер за по-здравите зони от скалния масив.

Състоянието на пукнатините в масива е характеризирано с показателя SCR (Surface Condition Rating – Коефициент на състоянието на стените на пукнатините), който е сума от стойностите на следните показатели (rating) – грапавост на пукнатините (Rr – Roughness ratio), изветряне по пукнатините (Rw –Weathering rating) и вид на запълнителя (Rf – Infilling rating) в пукнатините:

SCR = Rr + Rw + Rf.

Категориите на отделните показатели се определят визуално, съгласно Bieniawski (1989).

На базата на данните от визуалното описание на състоянието на пукнатините от сондажната ядка за основните скални формации и структурно-нарушените зони и свързаните с тях вторични променисаопределени интегралните характеристики на състоянието на пукнатините за отделните скални инженерногеоложки разновидности, като стойностите на съответните коефициенти (рейтинги) са представени в таблица 1.

Таблица 1.

	1							
пукнатините за основните скалните формации.								
Категоризиране на показателите за състоянието на	1							

коефициент на състоянието на стените на пукнатините (эск)						
Стойност	Инженерногеоложка разновидност					
CTONHOCT	2	3	4	5		
Максимална	15 (11)	14 (8)	16 (9)	13 (9)		
Минимална	10 (9)	10 (4)	14 (6)	12 (6)		
Средна	13(10)	12 (6)	15(7)	12(8)		
		Средно з	а масива			
Максимална	15 (10)					
Минимална	11 (6)					
Средна	13(8)					

* Стойностите в скоби се отнасят за нарушените зони.

Таблица 2.

Обобщените	резултати	от	изчисленията	за
показателите	RQD u GSI.			

	06	Показатели							
MIP	OOXBAT	RQD	Jv	SR	SCR	GSI			
1	масив	29,4	32,2	19,2	9,2	11			
I	тунел	37,8	28,9	22,6	9,6	13			
2	масив	7,4	41,0	14,8	7,8	33			
2	тунел	8,0	40,8	14,9	7,8	42			
2	масив	60,5	19,8	28,6	11,6	36			
3	тунел	61,4	19,5	29,8	11,5	37			
4	масив	35,1	30,0	20,3	9,7	30			
4	тунел	62,1	19,2	28,4	12,0	30			
5	масив	41,7	27,3	22,2	13,0	30			
э	тунел	48,7	24,5	24,9	13,0	30			
6	масив	33,5	30,6	18,9	8,3	37			
0	тунел	27,1	33,2	18,5	7,5	44			

За стойностите за показателя SCR, определени за скалите, се приема, че характерзират основно по-слабо нарушената част на масива, която може да се характеризира със стойности на RQD>50% (добро качество на масива) и стойност на SR>22,8. Съответните стойности за структурно-нарушената част на масива, се приема, че характеризират зоните с RQD<25% (много лошо качество на масива) и SR<17,0. Тези граници, както и средните стойности за масива са показани на фигура 3.



Фиг. 3. Модифицирана скала за определяне на GSI(noSönmez u Ulusay, 2002).

△ – стойности за масива О – стойности за зоната на тунела.

Получените резултати съгласно изложената по-горе методика са представени в таблица 1, като са използвани за определянена показателите GSI за поделените ИГР, като обобщените резултати са представени на фигура 3 и таблица 2.

Количествени показатели за свойствата на скалния масив

Количествените показатели за характеризиране на геотехническите свойства на масива са определяни чрез:

- Лабораторни изследвания на скални проби от сондажната ядка;
- Полеви еластиметрични изследвания в сондажите;
- Сеизмичен каротаж в сондажите

Обобщените резултати от лабораторните и полеви изследвания на отделните инженерногеоложки разновидности са представенив таблица 4.

Естественото поле на напреженията в масива

Естественото поле на напреженията в масива е изследвано чрез хидроразрив в сондажите. Получените резултати показват, че хоризонталните напрежения в масива са относително постоянни, като в дълбочина, в по-плитките зони се установява известно намаляване, вероятно за сметка на разтоварването им. Естественото напрегнатото състояние, вероятно под влияние на консервирани в масива тектонски напрежения, се характеризира с отклонение на главната ос на елипсоида на главните нормални напрежения от верикалата. В масива са консервирани значителни по големина и аномално хоризонтално ориентирани, вероятно тектонски напрежения, с интензивност до около 30 MPa.

Изводи и заключения

Направеният анализ на отделните елементи, характеризиращи геотехническите условия, позволява да се направят следните изводи:

- Съвременните геолого-тектонски условия са основен елемент, определящ съвременните инженерногеоложки, хидрогеоложки и геотехнически условия. Независимо от сравнително еднородния геоложки строеж (основно в северната и централна част на участъка), тектонското развитие на хорста е обусловило съществена структурна нарушеност, представена от разломи, катаклазни зони и повсеместна напуканост, които са с преобладаващо стръмно западане, с различна честота и издържаност.
- Това е довело до наличие на множество слаби зони в зоната на тунела и обуславя значителна нееднородност по отношение на неговите инженерногеоложки свойства, значителни различия във филтрационните му свойства, а също и за локални нарушения на хидравличната му свързаност.
- Водопритокът по трасето в тунела се очаква да бъде твърде неравномерен, като по неговото протежение има участъци, в които са възможни значително повисоки водопритоци от средните. Такива участъци могат да бъдат: а) местата в близост до големите разломи; б) участъците където тунелът минава на малка дълбочина под някои по-големи дерета.В близо 70% от от тунелното трасе водоносните зони са с много голяма дебелина, което определя значителен хидростатичен натиск върху облицовката на тунела.
- Масивът е значително натрошен, със силно изменчиви свойства на инженерногеоложките разновидности, включително наличие на дисперсни почви в зоните на множеството разломни нарушения. Съгласно преобладаващите стойности на показателя RQD, неговото качество се изменя от "много лошо" до "лошо";
- Сеизмотектонските условия са едни от най-неблагоприятните и опасни за строителство на територията на България;

Масивът е със сложно напрегнато състояние, характеризиращо се със значителни по големина и аномално хоризонтално ориентирани, вероятно тектонски напрежения, с интензивност до около 30 МРа и с отклонение на главната ос на елипсоида на главните нормални напрежения от верикалата. Таблица 4.

Обобщени резултати от лабораторните и полеви изследвания.

Показатели ЛАБОРАТОРНИ			ИГР 3	ИГР 4	ИГР 5	ИГР 6
Обемна плътност	ρ _n (g/cm ³)	-	2,61	2,70	2,62	2,52
Специфична плътност	ρ _s (g/cm ³)	-	2,69	2,78	2,76	2,68
Обем на порите	n (%)	-	2,87	2,62	5,02	6,23
Порен коефициент	e (-)	-	0,03	0,03	0,05	0,07
Якост на едноосов натиск в сухо състоянние	R _{н.о.} (MPa)	-	72,44	56,19	43,52	48,53
Якост на едноосов натиск във водонапито състоянние	R _{н.в.} (MPa)	-	46,42	37,91	23,32	25,05
Якост на опън сухо състоянние	Ron. (MPa)	-	5,96	7,50	4,42	4,73
	c (MPa)	-	26,00	12,00	-	-
приаксиален опит в камера на поек	φ (°)	-	54,00	54,10	-	-
Коефициент на Поасон	μ(-)	-	0,10	0,12	0,11	0,07
Модул на еластичност	E (MPa)	-	46931	65851	49137	26398
ПОЛЕВИ						
Еластиметричен модул	E ₀ (MPa)	373,0	3896,7	1038,6	2807,2	913,4
Скорост на надлъжни вълни	V _P (m/s)	2463	3442	3316	2981	3646
Скорост на напречни вълни	V _S (m/s)	1276	1801	1712	1509	1948
Динамичен коефициент на Поасон	μд (-)	0,312	0,31	0,32	0,33	0,30
Динамичен модул на Юнг	Eд (MPa)	11197	23724	21279	16735	26428

Като цяло, геолого-тектонските, сеизмотектонските, хидрогеоложките и инженерногеоложките условия определят геотехническите условия по трасето на тунел "Кресна" като сложни и неблагоприятни, както по отношение на проектирането, така и за строителството. Те носят голям риск и за бъдещата експлоатация на съоръжението. Доколкото други изследвания показват, че изграждането на тунела ще бъде съпроводено и със значими за района екологични проблеми, би било подходящо (въпреки напредналата фаза на проектиране на тунела) да се потърси и алтернативен вариант на сегашното трасе за преминаване в зоната на Кресненското дефиле.

ЛИТЕРАТУРА

- Bieniawski, Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.1989.
- Marinos, P., E.Hoek, A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. - *Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering (GeoEng2000), Melbourne, Australia, Technamic Publishing Co. Inc.*, 2000. - 1422-1440.
- Palmstrom, A.Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). - *Tunnels* and Underground Space Technology, 20, 2005. - 362-377.
- Shanov S., N. Dobrev. Tectonic stress field in the epicentral area of 04.04.1904 Kroupnik Earthquake from strea on slickensides. Geodynamic Investigations on the Territory of Bulgaria. Investigations of the Krupnik-Kresna Region

Related to the 1904 Earthquake. - *Reports of Geodesy. Warsaw University of Technology*, 4 (48), 2000. - 117-122.

- Sonmez, H., R.Ulusay. Modifications to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes. -*International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, (36), 1999. - 743-760.
- Vrablianski, B. Main lines of tectonic activition of the Earth's crust in Bulgaria during the anthropogean. C. R. Acad. Bulg. Sci., 27, 7,1974. -953-956
- Фондови материали
- Желев, В. и др. Доклад за извършената картировка на тунелите в участък «Кресна» на автомагистрала «Струма». – Геофонд на «Геотехника АБС» ООД.2014.
- . Милованов, П., И. Петров, В. Вълев, А. Маринова, И. Климов, Д. Синьовски, М. Ичев, С. Приставова, Е. Илиева, Б. Банушев. Обяснителна записка към Геоложка карта на Република България в мащаб 1:50 000. Картен лист К-34-82-Г (Берово) и К-34-83-В (Кресна). С., Консорциум Геокомплекс. 2009.
- Стойнев, С. (ред.), Геотехнически проучвания на АМ "Струма", участък "Благоевград – Сандански" – ЛОТ 3.2. – тунел "Кресна", Геофонд на «Геотехника АБС» ООД.2015.
- Шанов С., Добрев Н. и кол. ДОКЛАД по Договор № 458/2009 между Геологическия институт при Българска академия на науките и "Булгартрансгаз" ЕАД: Определяне на геоложките опасности в найуязвимите участъци на Националната газопреносна мрежа.2009.

Статията е рецензирана от проф. д-р Венелин Желев и препоръчана за отпечатване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".

МАТЕМАТИЧЕСКИ ФИЛТРАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ТЕРМОМИНЕРАЛНО НАХОДИЩЕ "ХАСКОВСКИ МИНЕРАЛНИ БАНИ"

Николай Стоянов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Съставен е математически числов тримерен модел на филтрационното поле в района на термоминерално находище "Хасковски минерални бани". Моделната област обхваща подповърхностното пространство до дълбочина 1300 m на територия с площ около 35 km². В тези рамки попадат четири високо рангови хидрогеоложки единици: горноеоценски термоводоносен седиментен комплекс, палеоген-неогенски разломно-пукнатинен дренажен комплекс, палеогенски слабопроницаем ефузивен комплекс и неоген-кватернерен водоносен комплекс. С филтрационния модел са определени количествено приходните и разходните елементи на водния баланс на всеки моделен пласт и е направена количествена оценка на водните ресурси на находището. Определени са границите на санитарно-охранителната зона около действащите съоръжения за добив на термоминерални води. При разработването на модела са използвани компютърните програми Modflow и Modpath.

MATHEMATICAL FLOW MODEL OF THE GEOTHERMAL SITE "HASKOVO MINERAL BATHS" Nikolay Stoyanov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; nts@mgu.bg

ABSTRACT. A three-dimensional numerical mathematical model of the flow field in the region of the geothermal site "Haskovo mineral baths" is composed. The modeled area covers the sub-surface space to a depth of 1300 m along a territory of about 35 km². Within this framework fall four high rank hydrogeological units: the Upper-Eocene thermal water-bearing sedimentary complex, the Neogene-Paleogene fault-fissure drainage complex, the Paleogene low permeable effusive complex, and the Neogene-Quaternary aquifer complex. By the developed flow model are quantitavely estimated the water balance revenue and expenditure elements in each model layer and is performed a quantitative assessment of the deposit water resources. The boundaries of the sanitary protection zone around the existing facilities for extraction of thermal waters are deternined. The model is developed using the computer programs Modflow and Modpath.

Въведение

Използването на класически методи или на аналитични математически модели не винаги е достатъчно ефективно и не дава добри резултати при решаване на редица, често срещани в хидрогеоложката практика, задачи. Например, такива са задачите, свързани с определяне на структурата на филтрационното поле, оценка на елементите на водния баланс, оценка на локалните и/или регионалните ресурси на подземните води, оразмеряване на санитарноохранителните зони (СОЗ) около съоръжения за добив на пресни и минерални подземни води и много други. Достоверността на получените решения силно намалява в случаите на по-висока хетерогенност на водоносните структури или по-сложни външни и вътрешни гранични условия. Тези проблеми е възможно да бъдат решени с прилагане на числови тримерни (3D) модели, с които може да се симулират в детайли и с максимална прецизност конкретните хидрогеоложки условия.

Посредством математически числов 3D модел е пресъздадена сложната хидрогеоложка обстановка в района на термоминерално находище "Хасковски минерални бани". С модела е детерминирана структурата на филтрационното поле, определени са елементите на водния баланс, направена е оценка на водните ресурси и

са оразмерени границите на СОЗ около действащите съоръжения за добив на термоминерални води. За целта са използвани компютърните програми Modflow и Modpath (McDonald, Harbaugh, 1988; Andersen, 1993; Pollack, 1994 и др.). Използвани са и голям брой различни публикации и фондови материали, съдържащи информация за хидрогеоложките условия и водоизточниците. По-важните от тях са няколко книги и студии, в които има подробно описание на термоминералното находище (Петров, 1964; Щерев, 1964; Петров и др., 1970 и много други), а също и по-нови, обобщаващи предишните изследвания, научноприложни и производствени доклади (Петров и др., 1998; Добрева, 2002; Нейков, 2012 и др.).

Общи сведения за находището

Термоминерално находище "Хасковски минерални бани" е най-голямото и високотемпературно находище в Източните Родопи. Познато е от древни времена. Найранните сведения за минералните извори се срещат в публикации и доклади от началото на XX век. Първите позадълбочени проучвания и каптирането на изворите е извършено в периода 1936-37г., когато е направено и първо измерване на общия им дебит. Измерените преди и след каптирането дебити са 19,7 I/s и 26,6 I/s. Направените през 1957г. нови измервания показват общ дебит от 25,6 l/s и температури между 50,6°С и 59,6°С. Много важен етап в проучването и разкриването на находището представляват сондажните дейности през 1957-59г., когато в зоната на изворите от ИПП "Водоканалпроект" са изградени четири сондажа с дълбочини между 196 m (С-1) и 290 m (С-3). Три от сондажите (С-1, С-2 и С-4) са работили на самоизлив, при това със значителни начални дебити – 30 l/s (С-2) и 14 I/s (С-1). Изграждането на сондажи води до съществени промени в дренажната система. Повечето естествени извори постепено намаляват дебита си и пресъхват, като общият дебит се преразпределя в полза на сондажите. През 1959г. сумарният дебит на фонтаниращите сондажи (С-1, С-2 и С-4) и останалите извори варира между 29 и 37 I/s. Проведените в следващите десетилетия единични измервания не показват съществени различия в общия дебит на водоизточниците (вариращ около 30 l/s), което говори за сравнително постоянен във времето подземен отток в дренажната зона. От многобройните в миналото извори и сондажи, сега работят 4 водоизточника: К-5 капиран извор; С-3 – сондаж на помпен режим; С-2 и С-4 – сондажи на самоизлив. Направените до момента ресурсни оценки на находището се базират на многогодишните наблюдения върху техния дебит. Утвърденият през 2002г. от МОСВ общ ресурс на находището е 32,7 l/s при температура на добиваната вода 56-57ºС., като определените дебити на водоизточниците са: К-5 - 0,7 l/s; С-2 и С-4 – 26 l/s и С-3 – 6 l/s (Нейков и др., 2012).



Фиг. 1. Геоложка карта в района на находището. Местоположение на сондажите (С-2, С-3 и С-4) и каптирания извор (К-5). (по Геоложката карта на България М 1:100000 - Боянов, 1995)

Концептуален модел

При разработването на математическия 3D модел на филтрационното поле е приета следната, базирана на съвременните геолого-тектонски представи, обща концепция за хидрогеоложките условия в района на термоминералното находище:

- Работната хипотеза предполага в терциерния разрез (до дълбочина 1300 m) да се отделят 4 високорангови хидрогеоложки единици (ХГЕ): (1) горноеоценски термоводоносен седиментен комплекс; (2) палеогеннеогенски разломно-пукнатинен дренажен комплекс; (3) палеогенски слабопроницаем ефузивен комплекс; (4) неоген-кватернерен водоносен комплекс.
- Горноеоценският термоводоносен седиментен комплекс е основният резервоар на находището. Формиран е в докалдерния теригенно-карбонатен комплекс, включващ седиментите на Континенталнотеригенния варовиков комплекс (1Pg₂³), Брекчоконгломератната задруга $(2Pg_{2^{3}}),$ Въгленоснопесъчливата задруга (3Pg23) и Мергелно-варовиковата задруга (4Pg₂³). Представен е от напукани и блоково разломени алтернации от конгломерати, гравелити, пясъчници, алевролити, мергели и варовици, установени в интервала от 1000 до 1300 m под земната повърхност. Филтрационната среда е водопропусклива, твърде хетерогенна и с подчертана анизотропия. Тези различия предполагат диференциране на блокове (зони) в термоводоносния комплекс с различни филтрационни свойства. Коефициентът на филтрация k най-често варира между 0,10 и 0,75 m/d, а коефициентът на анизотропия ka е в диапазона 0,75-0,90. Основното подхранване на докалдерния комплекс е от студени инфилтрогенни води, постъпващи по разположените на юг от находището, отвъд границите на разглежданата територия, разломни структури. Темературата на подземните води се повишава до 80-85°С под действието на изразена геотемпературна аномалия в допалеогенската подложка. Генералната посока на термоминералните води в докалдерния комплекс е на СИ, като средният хидравличен градиент е около 0.005. Пиезометричните нива в комплекса са много високи, а в определени зони са на няколко десетки метра над терена. Високите хидравлични напори са причина за възникване на възходящ филтрационен поток в Банския разлом. Преди изграждането на вододобивните каптажи и кладенци, възходящият поток се е дренирал на повърхността под формата на разсеяни извори в силно проводящ участък (зона) с дължина около 500 m. Понастоящем основната част от потока се прихваща от съществуващите сондажи (С-2, С-3 и С-4) и каптаж К-5.
- Палеоген-неогенскит разломно-пукнатинен дренажен комплекс е развит по Банския разлом (фиг. 1), който представлява сложна разломно-разседна субмеридионална структура с посока ССЗ (340-350°), западане на С-СИ под ъгъл 75-80°, амплитуда на разсядане около 200 т и дължина 5 km. Заложението му е в докалдерния седиментен комплекс (1-4Pg₂³), а в отгорележащия ефузивен комплекс маркира границата между Задругите на първи и втори средно кисел вулканизъм (5Pq₂³ и 7Pq₃) със Задругата на втори кисел вулканизъм (8Раз). Колекторът е изграден от в различна степен разломени, тектонски преработени, напукани и променени вулканоседиментни скали (главно латити, андезити и риодацити). В тази силно нееднородна среда се отделят две зони с различна водопропускливост: силнопроводяща (изворна) зона и слабопроводяща зона.
- Силно проводящата (изворна) зона е с дължина около 500 m и ширина 50-100 m. Тя е основният път за движение на идващия от дълбочина филтрационен

поток и много важен фактор, който детерминира количествените и качествените характеристики на естествените изходища (изворите) и до голяма степен лимитира ресурсите на термоминералното находище. По данни от направените филтрационни тестове, проводимостта на най-горната част на изворната зона (до дълбочина 200 m) е около 500 m²/d, а коефициентът на филтрация k е приблизително 2,5 m/d.

- Слабо проводящата зона обхваща всички останали части на Банския разлом, извън границите на изворната зона. Предполага се, че к в тази зона е нисък найчесто около 0,01-0,05 m/d. Посочените стойности са с няколко порядъка по-високи от стойностите на к за ефузивните формации, ограждащи разломно-пукнатинния дренажен комплекс. Тези условия от една страна препятстват възникването на възходящи термоминерални потоци в слабо проводящата зона, но от друга са причината същата да се разглежда като регионален колектор, който дренира практически неводоносния палеогенски ефузивен комплекс.
- Палеогенският слабопроницаем ефузивен комплекс е изграден от скалите на Задругата на първи средно кисел вулканизъм (5Pg₂³), Задругата на втори среднокисел вулканизъм (7Рдз) и Задругата на втори кисел вулканизъм (8Рд3). В състава му участват и скалите на олигоценския дайков комплекс (Pg₃). Ефузивният комплекс включва много широк спектър литоложки разновидности – латити, андезити, андезитобазалти, шошонити, риолити, трахириолити, трахириодацити, риодацити, перлити и др. Изброените скали притежават различни структурно-текстурни особености, напуканост, степен на изветряне и вторична промяна, като тези различия предопределят известно разнообразие и по отношение на техните филтрационни характеристики. В случая, средният коефициент на филтрация k за скалите от различните геоложки формации (табл. 2) е приет по литературни данни и след направен качествен анализ за характера, размерите и запълването на пукнатините в скалния масив, както и за характеристиките на продуктите от изветрителните процесите на изветряне и вторична промяна. Независимо от отбелязаните различия, като цяло скалите от палеогенския ефузивен комплекс се характеризират с много ниска водопропускливост (k = 0,003-0,0002 m/d) и изпълняват ролята на един добре издържан регионален "водоупор". В района общата дебелина на ефузивния комплекс е около 700-800 m.
- Неоген-кватернерния водоносен комплекс е формиран в наслагите на Ахматовската свита (ahN₁₋₂) и алувиалните образувания на р. Буковска (aQh). Изграден е предимно от глинесто-песъчливи материали с обща дебелина 50-100 m. В разреза преобладават глинестите пластове, което предопределя и слабата водообилност на водоносната структура. По данни от предишни проучвания проводимостта на комплекса е в границите 25-50 m²/d. При тези условия за средния коефициент на филтрация е приета стойността 0,5 m/d. Основното подхранване на подземните води е от инфилтрация на валежите и съседни водоносни комплекси. По експертна оценка, около 2-3 % от падналите през годината валежи (668 mm за станция Хасково - Колева и др., 1990) се инфилтрират в дълбочина. При тази предпоставка скоростта на инфилтрация е W=4x10-5 m/d. Дренирането

на неоген-кватернерния комплекс се реализира в речноовражната мрежа, като структурата на подземния поток се контролира от р. Буковска.

 Вододобивната система, която в момента експлоатира термоминералното находище "Хасковски минерални бани", включва 4 водовземни съоръжения – сондажи С-2, С-3 и С-4 и каптаж К-5.



— поз-т.з - задруга на втори сред	нокисел вулканизъм
————————————————————————————————————	слабопроводяща зона)
- МЗ-1.5 - Разломна структура (с	силнопроводяща зона)
————————————————————————————————————	ел вулканизъм
————————————————————————————————————	днокисел вулканизъм
————————————————————————————————————	слабопроводяща зона)
- МЗ-2.4 - Разломна структура (с	силнопроводяща зона)
————————————————————————————————————	ен комплекс - блок 1
————————————————————————————————————	ен комплекс - блок 2
————————————————————————————————————	ен комплекс - блок 3

Фиг. 2. Геометрия на моделните пластове и зони. Гранични условия.

Таблица 2.

Коефициент на филтрация k и активна порестост п₀ на моделните пластове и зони

Моделен пласт	Моделна зона	k, m/d	n ₀ , -
	M3-1.1	5.0E-01	1.5E-02
	M3-1.2	2.0E-04	1.0E-03
MΠ-1	M3-1.3	2.0E-03	1.5E-03
	M3-1.4	5.0E-02	4.0E-03
	M3-1.5	2.5E00	2.0E-02
	M3-2.1	2.0E-04	1.0E-03
	M3-2.2	3.0E-03	2.0E-03
IVII I-Z	M3-2.3	1.0E-02	2.5E-03
	M3-2.4	2.5E-01	5.0E-03
	M3-3.1	3.5E-01	1.0E-02
MΠ-3	M3-3.2	7.5E-01	2.0E-02
	M3-3.3	2.0E-01	5.0E-03

Забележка: Стойностите на k, n₀ u n₅, са определени по литературни данни в съобразно вида на литоложките разновидности (Spitz, Moreno, 1996 и др.).

Таблица 3.

Кратка информация за водоизточниците

Водоизточник №	C-2	C-3	C-4	К-5
Кота терен	264,66	266,14	263,46	262,18
Кота на дрениране	261,01	-	260,91	263,12
Дълбочина, m	203,0	290,0	150,0	-
Дебит на помпата Q _n , I/s	-	6,0	-	-

Таблица 1.

Хидрогеоложки единици, моделни пластове и моделни зони

Хидрогеоло	ожка единица		Литоложка	Геоложки	Моделен	Моделна
I-ви ранг	II-ри ранг	теоложка единица	характеристика	индекс	пласт	зона
Неоген-кватернерен	_	Алувиални образувания	чакъли, пясъци, глини	aQh	МП_1	M3-1.1
водоносен комплекс	-	Ахматовска свита	глини, пясъци	ahN ₁₋₂	1011 1- 1	1010-1.1
		Задруга на втори кисел	трахириодацити, риодацити	8µζPg₃	MΠ-1	M3-1.2
Пополонии	водоупорна зона	вулканизъм	риолити, трахириолити	8µPg₃	МП-2	M3-2.1
слабопроницаем	Много слабо	Задруга на втори	пребнопорфирни патити	7λ ³ Ρα ₂	МП-1	M3-1 3
	проницаема зона	среднокисел вулканизъм	дреопопорфирни натиги	7771 93	101111	WIG 1.0
сфузивен комплеке	Слабо проницаема	Задруга на първи	андезити	5αPg₂³	M□_2	M3-2.2
	зона	среднокисел вулканизъм	латити, шошонити, андезити	5λPg ₂ ³	1011 1-2	1013-2.2
Папеогон-неогонски	Спабо проволяща зона					M3-1.4
	олабо проводяща зона			Pa N	MΠ-1	M3-2.3
	Силно проводяща	тазломна структура	латити, риодацити	i g-i	МП-2	M3-1.5
дренален комплеке	(изворна) зона					M3-2.4
Горноеоценски	Блок 1		конгломерати, пясъчници,			M3-3.1
термоводоносен	Блок 2	докалдерен седиментен	варовици, мергели,	1-4Pg ₂ ³	MП-3	M3-3.2
седиментен комплекс	Блок 3	KOMINIEKC	алевролити			M3-3.3

*Забележка: Долнокардерният седиментен комплекс включва седиментите на Континентално-теригенния варовиков комплекс (1Pg₂³), Брекчоконгломератната задруга (2Pg₂³), Въгленосно-песъчливата задруга (3Pg₂³) и Мергелно-варовиковата задруга (4Pg₂³).

Таблица 4.

Гранични условия

Граница	Тип	Моделен пласт	Участък	Дължи-на, m	Средна проводимост по границата С _{ср} , m²/d
1. Югозападна – симулираща потока, идващ от ЮЗ част на палеогенския	СПР	M∏-1	GHB 1.1	6819	0,4
ефузивен комплекс	бпр	МП-2	GHB 2.1	6819	2,5
 Югозападна – симулираща потока, идващ от ЮЗ част на горноеоценския термоводоносен комплекс 	GHB	МП-3	GHB 3.1	6819	50
 Североизточна – симулираща потока, дрениращ се от палео-генския ефузивен комплекс към неоген-кватернерния комплекс 	GHB	МП-1	GHB 1.2	2665	0,4
 Североизточна – симулираща потока от палеогенския ефузи-вен комплекс, дрениращ се на С-СИ от моделната област 	GHB	МП-2	GHB 2.2	2665	2,0
 Североизточна – симулираща потока от горноеоценския термо-водоносен комплекс, дрениращ се на С-СИ от моделната област 	GHB	МП-3	GHB 3.2	2665	30
			GHB 1.3	4757	0,4
0. Северозападна – симулираща потока по Со граница на модела оп/към	GHB	MΠ-1	GHB 1.4	1182	5,0
неоген-кватернерния и палеогенския ефузивен комплекс			GHB 1.5	1572	0,4
7. Югоизточна – симулираща потока по ЮИ граница на модела от/към	СНР	MD 1	GHB 1.4	5110	5,0
неоген-кватернерния и палеогенския ефузивен комплекс		1111-1	GHB 1.5	3974	0,4
р. Буковска	River	MΠ-1	River 1.1	3922	1,0

Забележка: Освен посочените гранични условия е зададено още едно външно гранично условие: инфилтрационно подхранване (Recharge) по цялата площ на моделен пласт МП-1.

Таблица 5.

Количествена оценка на елементите на водния баланс

ПРИХОДНИ ЕЛЕМЕНТИ, QI ^{IN} , I/s	РАЗХОДНИ ЕЛЕМЕНТИ, QI ^{OUT} , I/s						
Воден бала	нс на моде	елен пласт МП-1					
Подхранване по латералните граници на моделната област (от	аници на моделната област (от Дебити на вододобивните съоръжения		C-2 C-4	13,48 12.65			
външните за модела части на неоген-кватернерния водоносен комплекс и на палеогенския ефузивен комплекс)	25,09	(кладенци С-2, С-3 И С-4 и каптаж К-5)	C-3 K-5	6,00			
Подхранване от горноеоценския термоводоносен комплекс през разломно-пукнатинния комплекс	38,56	Дрениране през ЮИ граница на модела (към външни модела части на неоген-кватернерния водоносен ком	ите за мплекс)	17,12			
Подхранване от инфилтрация на валежи	16,11	Дрениране в р. Буковска		29,91			
общо	79,76		общо	79,90			
Балансова грешка 0.18 % (difference)							
Воден бала	нс на моде	елен пласт МП-2					
Подхранване от горноеоценския термоводоносен комплекс през разломно-пукнатинния комплекс	38,72	72 Дрениране в МП-1 през разломно-пукнатинния комплекс					
Подхранване по ЮЗ граница на моделната област от външните за модела части на палеогенския ефузивен комплекс	0,83	Дрениране през СИ граница на моделната област къ външните за модела части на палеог. ефузивен комп	ым плекс	0,88			
Общо	38,72		Общо	38,56			
Балансова грешка 0.27 % (difference)							
Воден бала	нс на моде	елен пласт МП-3					
Подхранване по ЮЗ граница на моделната област от външните за	58,18	Дрениране през СИ граница на моделната област къ външните за модела части на горноеоценския седим комплекс	ым ментен	19,11			
модела части на горноеоцен-ския термоводоносен комплекс		Дрениране в отгорележащите МП-1 и МП-2 през разл пукнатинния дренажен комплекс	ломно-	38,92			
Общо	58,18	Общо		58,03			
Балансова грешка 0.26 % (difference)							

Композиране на филтрационния 3D модел

Филтрационният 3D модел (FM3D) представлява тримерна симулация на филтрационното поле в района на обекта, отчитаща конкретните хидрогеоложки условия и всички външни въздействия, включително и специфичния експлоатационен режим на вододобивната система. Основните положения и входни параметри при неговото композиране са следните:

- FM3D е съставен съобразно постановките, изложени в концептуалния модел и програмния пакет Modflow.
- Пространствената дискретизация е направена с неравномерна ортогонална мрежа. Тя е сгъстена в близост до кладенците и каптажа, тъй като тук напорните градиенти са най-високи (фиг. 1).
- FM3D включва три моделни пласта МП-1, МП-2 и МП-3. Според различията на филтрационните параметри, във всеки моделен пласт са отделени по няколко моделни зони (табл. 1), с които относително точно са симулирани формата и пространственото разположение на хидрогеоложките единици от различен ранг (водоносни и "водоупорни" комплекси, пластове и зони) (фиг. 2,. 3a, 4a и 5a).
- Регионалният поток е моделиран с гранично условие от III род по схемата GHB по външните граници на модела. Зададената проводимост по границите С (фиг. 36, 46 и 56) е изчислена съобразно дебелината и коефициента на филтрация на моделния пласт или зона, в която попада съответната моделна клетка. Напорите по границите са зададени така, че: (1) подземните води в МП-1 се дренират от р. Буковска; (2) подземният поток в МП-3 е ориентиран на СИ при среден градиент 0,005, а напорите в него са с 20-25 m над терена.
- Река Буковска е симулирана като 3D обект с гранично условие от III род (River) (фиг. 3б).
- Инфилтрационното подхранване е зададено като постоянна величина във всички клетки от първия моделен пласт - W=4x10⁻⁵ m/d. Въвежда се с гранично условие подхранване (Recharge).
- Водовземните съоръжения са зададени като 3D обекти със съответните координати и конструктивни особености (диаметри, дълбочини, водоприемната част и пр.).
- Работещите на самоизлив съоръжения С-2, С-4 и К-5 са моделирани с гранично условие от I род – постоянен напор (Specified Head). Сондаж С-3, в който работи помпа с постоянен дебит, е зададен с гранично условие от II род (Well). Приетите в модела коти на дрениране в С-2, С-4 и К-5 и дебита на С-3 са представени в таблица 3.
- При калибрирането на FM3D са използвани: (1) данни за експлоатационните дебити и нива в тръбните кладенци и каптирания извор; (2) водните стоежи в р. Буковска.

Резултати от моделните решения

Структура на филтрационното поле

С FM3D е направена математическа симулация на структурата на филтрационно поле. Получените решения са представени с три пиезометрични карти (фиг. 6а,б,в). Те илюстрират хидродинамичната картина в района на находището в условията на непрекъсната експлоатация на

четирите водовземни съоръжения (тръбни кладенци С-2, С-3 и С-4 и каптаж К-5).



Фиг. 3. Моделни зони и гранични условия в моделен пласт МП-1.







Фиг. 5. Моделни зони и гранични условия в моделен пласт МП-3.

Воден баланс. Ресурси на подземните води.

Направените с FM3D количествени оценки за елементите на водния баланс в трите моделни пласта са обобщени в таблица 5. Въз основа на получените резултати могат да се направят следните по-важни обобщения и изводи относно <u>ресурсите на подземните води</u>.

- Водните ресурси на горноеоценския термоводоносен седиментен комплекс, в границите на изследваната територия, са приблизително 58 l/s, т.е. модулът на подземния отток е Mn = 1,7 (l/s)/km².
- Над 65 % от водните ресурси на горноеоценския термоводоносен комплекс (около 38,7 l/s) формират възходящ поток, който преминава към повърхността през силно проводящата зона на разломно-пукнатинния дренажен комплекс.
- Действащите водовземни съоръжения в находище "Хасковски минерални бани" (С-2, С-3 и С-4 и К-5)

прихващат 85 % от възходящия термоминерален поток (Q_{сум} = 32.87 l/s). Останалата неусвоена част от потока излиза под формата на разсеяни извори или се оттича подземно в неоген-кватернерния водоносен комплекс.



Фиг. 6. Структура на филтрационното поле в моделни пластове МП-1, МП-2 $_{\text{и}\,\text{M}}$ П-3.

 Ресурсите на неоген-кватернерния водоносен комплекс в района на моделната област са около 40 l/s, като модулът на подземния отток е относително висок - около 3.5 (l/s)/km². Основното подхранване на подземните води е от инфилтрация, от постъпващия по латералните граници поток, от палеогенския ефузивен комплекс и от разломно-пукнатинния дренажен комплекс. Основното дрениране (около 70 %) е в р. Буковска, а останалата част – в източните части на неоген-кватернерния хоризонт, извън границите на моделната област.

Модели за определяне на границите на СОЗ

Границите на пояс II и пояс III на СОЗ около сондажи С-2, С-3, С-4 и каптаж К-5 са определени с компютърна програма ModPath. С нея са съставени два миграционни модела MP3D-1 и MP3D-2, базирани на полученото с FM3D моделно решение за структурата на филтрационното поле, респ. за пространственото разпределение на напорите, градиентите и скоростите в моделната област, при отчитане на съвместната работа на водоизточниците. Приетите в моделните пластове и зони за двата модела стойности на активната порестост no са определени по литературни данни (Spitz and Moreno, 1996; USEPA, 1996, и др.) съобразно литоложките характеристики и вторичните на скалните разновидности, промени изграждащи съответната хидрогеоложка единица (табл. 2).

Посредством MP3D-1 са определени границите на пояс II при изчислително време 400 денонощия, а с MP3D-2 границите на пояс III при изчислително време 25 години. Тези времена са приети в съответствие с изискванията на действащите у нас нормативни документи. Така определените граници на пояс II и пояс III на CO3 са представени на фигура 7,а,б.



Фиг. 7. Граници на СОЗ около водоизточниците С-2, С-3, С-4 и К-5.

Литература

- Боянов, Ив. (ред.) Геоложка карта на България М 1:100000 (обяснителна записка). Картен лист Искра. ГИ БАН, "Геология и геофизика" АД. 1995. – 77 с.
- Добрева, Д. Проект за СОЗ на находище "Хасковски минерални бани". Фонд на община "Минерални бани".2002. – 50 с.
- Колева, Ек., Р.Пенева. Климатичен справочник. Валежи в България. Изд. БАН. 1990. – 169 с.
- Нейков, Н. (ред.) Находище на минерални води "Хасковски минерални бани" – преглед на състоянието на водоизточниците, тяхната експлоатация, проектиране на СОЗ около него и актуална качествена оценка на минералните води. Докл. на Водоканалпроект -Пловдив, Фонд на общ. "Минерални бани". 2012. – 69 с.
- Петров, П. Ст. Основни закономерности в разпространението на минералните води в България. - *Труд върху геол. на България*, 3, 1964. - 83-158.
- Петров, П., Св. Мартинов, К. Лимонадов, Ю. Страка. Хидрогеоложки проучвания на минералните води в България. - София, Техника. 1970. – 196 с.
- Петров, П. Ст. (ред) Хидротермално находище Минерални бани Хасково. Преоценка на ресурсите на геотермална енергия в България. – дог. N 69 от 06.04.1998 г на МОСВ с ГИ при БАН. 1998. – 36 с.
- Щерев, К. *Минералните води в България.* С., Наука и изкуство, 1964. 172 с.
- Andersen, P.F. A manual of instructional problems for the USGS MODFLOW MODEL. Dynamic contract 68-C8-0058 with the EPA, R.S. Kerr Environm. Res. Laboratory, Ada, OK 74820. 1993. – 265 p.
- McDonald, J.M., A.W. Harbaugh. A modular three-dimensional finite-difference flow model. *Techniques of Water Resour*ces Investigations of the USGS, Book 6. 1988. – 586 p.
- Pollack, D.W. User's Guide for MODPATH, V.3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the USGS finite-difference ground-water flow model, USGS Open File Rep. 1994. - 94-464.
- Spitz, K., J. Moreno. A practical guide to groundwater and solute modeling. JW&S, Inc., NY, 1996. – 460 p.
- USEPA. Soil screening Guidance: *User Guide. Publ.* 9355. 4-23. W., 1996. 39 p.

Статията е рецензирана от проф. дгн Михаил Гълъбов и препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и и инженерна геология".

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ЗАЩИТНИЯ ЕФЕКТ ОТ ГЛИНЕСТИЯ ИЗОЛАЦИОНЕН ЕКРАН И ЗАДЪРЖАЩАТА СПОСОБНОСТ НА ГЕОЛОЖКАТА ОСНОВА НА ДЕПА ЗА БИТОВИ ОТПАДЪЦИ

Николай Стоянов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Посредством математически двумерни (2D) и тримерни (3D) хидрогеоложки модели е направена количествена прогноза за възможното замърсяване на подповърхностното пространство с течни емисии от новото депо за битови отпадъци на гр. Самоков. При разработването им са използвани компютърните програми VS2DTI, Modflow и MT3D-MS. Чрез 2D моделите са симулирани условията за преминаване на сметищни води през инженерните бариери и зоната на аерация, а с 3D моделите са симулирани условията за разпространение на замърсители във водонаситената зона. В различни моделни варианти е изследвано поведението на бързо подвижните замърсители, по примера на хлоридния йон (CI-). На базата на прогнозните решения, са оценени защитният ефект от проектирания глинест изолационен пласт по дъното на сметищното тяло, задържащата способност (естествената защита) на геоложката основа, потенциалният риск от замърсяване на подземните води и възможностите за увеличаване на защитните функции на глинест изолационен пласт. Представените резултати илюстрират ефективността на използвания подход за оценка и оптимизиране на подобни проекти.

MATHEMATICAL MODELLING STUDIES FOR ASSESSING THE PROTECTIVE EFFECT OF THE ISOLATING CLAY LAYER AND THE RETENTION CAPACITY OF THE GEOLOGICAL BASIS OF LANDFILLS *Nikolay Stoyanov*

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; nts@mgu.bg

ABSTRACT. Mathematical two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) hydrological models are applied in order to obtain a quantitative forecast for a possible pollution of the sub-surface space by liquid emissions from the new landfill near the town of Samokov. The models are developed by using the computer programs VS2DTI, Modflow and MT3D-MS. The 2D models are applied for simulating the conditions under which the landfill leakage is passing through the engineering barriers and the zone of aeration, and by the 3D models are simulated the conditions for the spread of pollutants in the water-saturated zone. Various model variants are developed in order to study the behavior of fast moving pollutants on the example of the chloride ion (CI). The obtained prognostication solutions are used for evaluating the protective effect of the isolating clay layer designed to be spread along the bottom of the landfill body, the holding capability (the natural protection) of the geological basis, the potential risk of groundwater contamination, and the possibilities for increasing the protective functions of the isolating clay layer. The presented results illustrate the effectiveness of the applied approach for evaluation and optimization of such projects.

Въведение

Първите по-задълбочени изследвания на естествената защитеност и възможното замърсяване на подземните води и почвите от депа за битови отпадъци (ДБО) у нас датират от началото на 90-те години на XX век. Изследванията са свързани главно с производствена дейност или с проучване на чуждия опит при изготвяне на нормативни документи, регламентиращи изграждането и експлоатацията на подобни обекти. Основни теми в научните публикации са изучаване на конкретни обекти, разработване на критерии за идентификация и оценка на процесите на замърсяване на води и почви; съставяне на математически модели за прогнозиране миграцията на различни конвенционални замърсители във водоносните хоризонти и др. (Гълъбов и др., 1999; Стоянов, 2003 и много други).

Обект на изследване е един слабо застъпен проблем, свързан с количествена оценка на възможната миграция

на замърсители през долния изолационен екран от глини на ДБО. Оценката е направена с математически двумерни (2D) и тримерни (3D) модели, симулиращи условията за миграция на замърсители през инженерните бариери, зоната на аерация и във водонаситената зона под новото депо на гр. Самоков. Моделите са разработени с компютърните програми VS2DTI, Modflow и MT3D-MS (Healy, 1990; McDonald, Harbaugh, 1988; Zheng, Wang, 1998; и др.). Използвани са и непубликувани резултати от изследвания за изграждане на ново ДБО на гр. Самоков (Стоянов, 2012; Стоянов, 2014 и др.).

Хидрогеоложки двумерни (2D) модели

Използваните в 2D моделите работни хипотези са представени в таблица 1. С първите два модела (M2D-1 и M2D-2) се оценява естествената защита на геоложката среда, с третия модел (M2D-3) се изследва защитната роля на зададения по проект противофилтрационен пласт

от глина, а с четвъртия модел (M2D-4) се доказва необходимостта от допълнителна инженерна бариера.

Таблица 1.

Ροδομιι	VIIInomo211 22	VIIJI	ากวอกสกพม	umo	20	модоли
гасоппни	xunomesu sa	ruop	JOSEONOMN	unie	20	MODEJIU

	Работн	на хипо	отеза					
		Миграционни процеси						
Модел	Инженерна бариера	Конвективен пренос	Сорбция	Молекуляр- на дифузия	Механична дисперсия	Смесване		
M2D-1	Няма	да	не	не	не	да		
M2D-2	Няма	да	да	да	да	да		
M2D-3	Пласт от глина 0.5 m	да	да	да	да	да		
M2D-4	Пласт от глина 0.5 m Пласт бентомат 2.5 cm	да	да	да	да	да		

Концептуална схема

- Моделите са съставени при следните изходни позиции: • *Моделна област.* Обхваща хидрогеоложкия разрез в
- района на новото депо на гр.Самоков (фиг. 1, 2).
- Хидрогеоложки единици. В моделната област на всички двумерни модели присъстват, установените в подповърхностното пространство, хидрогеоложки единици: горен слабо проницаем пласт (кватернерна глина), долен слабо проницаем пласт (грусирала зона) и много слабо проницаем скален масив (здрав интрузивен комплекс) (фиг. 2). В моделите, отчитащи ролята на част от инженерните бариери, зададеният в проекта под дъното на сметищното тяло изолационен пласт от глина и покриващият го допълнителен пласт бентомат, макар и изкуствени формации, се разглеждат като ниско рангови хидрогеоложки единици със съответните филтрационни и миграционни характеристики. Проектната дебелина на глинестия пласт е 0,5 m, а дебелината на бентомата е 2.5 cm.
- Хидрогеоложки параметри (табл. 2). Коефициентът на филтрация k и физичните характеристики (плътност р, порестост n и др.) на горния и долния слабо проницаем пласт са дефинирани по данни от проведеното детайлно проучване (Стоянов, 2012). Според проектна-та документация и фабричните сертификати стойностите за k на инженерните бариери са: глинест екран - k = 10-9 m/s, бентомат – k = 10⁻¹¹ m/s. Опитът показва, че при изграждане на противофилтрационните екрани поради по-специфични характеристики на използваните материали или при неспазване на технологията на уплътняване е възможно реалните стойности на k да са с 1-2 порядъка по-високи. Ето защо, използваните в моделите стойности с голям инженерен запас са завишени. Миграционните характеристики (коефициент на разпределение K_D, надлъжна дисперсивност α_L, коефициет на дифузия D_M) на хидрогеоложките единици и инженерните бариери са изчислени чрез корелационни преходи с цитираните в специализираната литература данни за изграждащите ги литоложки разновидности (Healy, 1990; Spitz, Moreno, 1996; Гълъбов и др., 1999; Стоянов, 2003, 2014 и др.).
- Инфилтрационно подхранване от валежите. За района е установено, че в подповърхностното пространство постъпват 11,5% от валежите (Стоянов, 2012). При тези условия за скоростта на инфилтрация W извън депото

се приема, че W = $1.33 x 10^{\text{-4}}$ m/d. Съдържанието на Cl в атмосферните води е нищожно малко, т.е. c_{Cl} = 0 mg/l.



Фиг. 1. Местоположение на обекта. Хидродинамична карта.



Фиг. 2. Хидрогеоложки профил.

Таблица 2.

Физични, филтрационни и миграционни характеристики на хидрогеоложките единици и инженерни бариери

ρ_d , mg/m ³	k, m/d	K _D , m ³ /mg	α _L , m	D _M , m ² /d								
Горен слабо проницаем пласт												
1.64E+09	1.00E-01	2.74E-10	2.5E00	2.0E-04								
	Долен слабо проницаем пласт											
1.60E+09	5.00E-02	1.69E-10	1.2E00	3.0E-04								
	Много слабо	о проницаем с	кален масив									
2.35E+09	1.00E-03	2.12E-11	5.0E-01	1.5E-04								
	Противофил	птрационен пл	аст от глина									
1.70E+09	1.0E-04											
	Противофилтрационен пласт бентомат											
1.75E+09	1.00E-07	1.79E-09	1.0E-03	1.0E-04								

• Повърхностен източник на замърсяване. В четирите модела е изследвано поведението на бързо подвижните

замърсители по примера на CI⁻. Основните мотиви те да бъдат ползвани като маркери при прогнозните изчисления са: (1) поради своята консервативност CI⁻ са изключително подвижни и очертават максималния обхват на възможното замърсяване; (2) концентрацията на CI⁻ в сметищните води е висока.

- Режим на постъпване на замърсителите. Скоростта на инфилтрация на сметищните води Wp е определена на базата на голям брой варианти с вариране на нейните стойности при равни други условия. Установено е, че моделът е устойчив при Wp не по висока от 2.6x10-4 m/d. По данни за състава на отделяния от ДБО инфилтрат е установено, че концентрация на Cl- в сметищните води сРсI е намаляваща функция от вида представен на фигура 3 (Стоянов 2003, 2014 и др.). Графиката показва, че след след 15-тата година концетрацията е постоянна величина, равна на сРсI = 1000 mg/l.
- В съставените модели се предполага, че с посочените стойности на Wp и функционалната зависимост за срси, сметищните води ще постъпват по цялата площ под дъното на депото в продължение на 100 години.



Фиг. 3. Изменение на ссі в сметищните води за период от 100 години.



Фиг. 4. Моделни зони и гранични условия в 2D моделите.

Композиране на математическите 2D модели

Математическите модели са композирани с програма VS2DTI. Детерминираните хидрогеоложки единици в модел M2D-1 и модел M2D-2 са симулирани с три моделни зони (mz-1, mz-2 и mz-3), в модел M2D-3 – с четири зони (mz-1, mz-2, mz-3 и mz-4) и в модел M2D-4 – с пет зони (mz-1, mz-2, mz-3, mz-4 и mz-5) (фиг. 3). Зададените в тези

зони характеристики са посочени в таблица 2. Връзката между всмукващия потенциал Ψ, съдържанието на влага ω и коефициента на влагопроводност k' е моделирана с функцията на van Genuchten. В случая, параметрите на функцията (RMC, α и β) са приети по литературни данни за подобен тип геоложка среда. Взаимодействието между течната и твърдата фаза се симулира с линейната изотерма на Henry. По горната граница на четирите модела са зададени следните гранични условия: (1) по цялата площ под дъното на депото постъпват замърсени води със скорост на инфилтрация Wp = 2,6x10-4 m/d и входна концентрация на хлоридните йони сРСІ = f (t); (2) извън границите на депото се инфилтрират чисти валежни води със скорост W = 1,33x10-4 m/d и концентрация на хлоридните йони ссі = 0 mg/l. При дискретизацията на моделната област е използвана ортогонална мрежа с размери на клетките 1,0x0,5 m. Времето за симулация е разделено на 100 стрес периода, всеки с дължина 1 г.

Анализ на резултатите от моделните решения

Сравнителният анализ на представените решения (фиг. 5), дава основание да се направят следните обобщения и изводи относно процесите на замърсяване, естествената защита и самопречистваща способност на геоложката основа и защитния ефект на глинестия екран и бентомата:

- Количеството на постъпващите в дълбочина течни емисии е функция на проницаемостта на геоложката основа и на наличието и параметрите на инженерните бариери. Предварителните оценки показват, че скоростта на инфилтрация на сметищните води Wp не надхвърля 2.6x10⁻⁴ m/d, което се дължи на слабата водопроницаемост на установените в геоложкия разрез глинести разновидности.
- Направените с M2D-1 прогнозни симулации показват, че: (1) Постъпилите под дъното на депото замърсители ще мигрират в дълбочина с висока скорост, съизмерима с тази на инфилтрационния поток. За 1-2 г. замърсяването ще премине кватернерната глинеста покривка и ще навлезе във водонаситените части на грусиралата зона. (2) В следващите 10-12 г. замърсителите ще мигрират до здравия много слабопроницаем интрузивен фундамент. Впоследствие ще се придвижват латерално, следвайки релефа на скалната подложка и посоката на подземния поток – на югоизток към дере Големия Катранджия. (3) В края на компютърната симулация (100 г.) замърсителите ще започнат да се дренират в дерето. Замърсената зона ще обхване разреза до дълбочина 20 m в участъка между депото и дерето, като преобладаващите концентрации на CI- ще са високи – около и над 500 mg/l.
- Получените с M2D-2 решения показват аналогични на прогнозираните с M2D-1 тенденции. В случая, обаче, при изчисленията се отчитат и задържащите характеристики на геоложката среда. В резултат на това миграционните процеси се развиват по-бавно, а обхватът и степента на замърсяване на подповърхностното пространство в края на прогнозния период са по-ограничени. Прогнозните решения показват, че геоложката среда не обезпечава достатъчна естествена защита. Без наличие на нито една инженерна бариера замърсената зона след 100 г. ще обхване една немалка част от подповърхностното пространство, достигаща в разрез до скалния фундамент и заемаща в план ивица с ширина 220 m в посока на дерето, без да го достига (фиг.5,6).

- Резултатите от M2D-3 показват, че проектираният пласт от уплътнена глина с дебелина 0.5 m рязко ще намали инфилтриранети на сметищни води под дъното на депото (фиг.5,в). За 100 г. обхватът на замърсяване ще е много ограничен, а максималната концентрация на Clв замърсената зона ще е под 180 mg/l.
- Направените с M2D-4 изчисления убедително доказват, че добавянето на бентомат над противофилтрационния глинест пласт, рязко ще повиши защитата срещу инфилтриращите се в подповърхностното пространство течни емисии (фиг.5,г). След 100 г. замърсяването ще засегне най-горната част на геоложкия разрез до дълбочина 5-6 m, като максималната концентрация на Cl⁻ в замърсената зона няма да надхвърля 30 mg/l.
- След направения анализ е важно да се отбележи, че моделираните с M2D-1 и M2D-2 негативни сценарии е невъзможно на практика да се случат, предвид съществуващите законови и нормативни изисквания. Същевременно, разработените с M2D-3 и M2D-4 сценарии убедително доказват, че пластът от уплътнена глина и допълнителният пласт бентомат осигуряват много добра защита срещу инфилтрирането на сметищни води под дъното на депото.

Хидрогеоложки тримерни (3D) модели

Прогнозата за максимално възможния пространствен обхват и степента на замърсяване на подземните води в района на депото е направена посредством математическа 3D симулация на условията за пренос на вещество във водонаситената зона в рамките на очертания на водосбор. За целта са разработени един филтрационен и два миграционни модела (FM3D, MM3D-1 и MM3D-2). С FM3D е пресъздадена структурата на подземния поток, на която са базирани миграционните модели. MM3D-1 е компютърна симулация на разпространението на CI- в подземните води при условие, че на дъното на депото е изграден глинест пласт с дебелина 0,5 m, а MM3D-2 симулира миграцията на замърсители във водонаситената зона при условие, че над глинестия пласт е положен и бентомат.

Концептуален модел

Математическите 3D модели са разработени при следните изходни условия:

- Моделна област. В план обхваща територията на повърхностния водосбор, а в разрез включва хидрогеоложките единици до дълбочина 30-40 m.
- Хидрогеоложки единици (1) горен слабо проницаем пласт; (2) долен слабо проницаем пласт, в който са установени зони с различна водопропускливост. Много слабо проницаемият скален комплекс се разглежда като условен водоупор.
- Хидрогеоложки параметри. Изчислителните стойности на параметрите на хидрогеоложките единици са дадени в таблица 2 и фигура 6.6.
- Структура на подземния поток. Илюстрирана е с пиезометричната карта, представена на фигура 1.
- Гранични условия. Инифлтрационното подхранване от валежите се реализира по цялата площ на модела с постоянна скорост. Дерето Големия Кантарджия е основният фактор, контролиращ структурата на

филтрационното поле и изцяло дренира формирания в рамките на водосбора подземен поток.



Фиг. 5. Прогнозни решения за разпространението на замърсителите, получени с четирите 2D модела.

 Източник на замърсяване. Замърсителите в подземните води навлизат с инфилтрационния поток по цялата площ на равнината проекция на дъното на депото върху "водното огледало", маркиращо границата между зоната на аерация и водонаситената зона. Скоростта на замърсения поток е постоянна, а концентрацията на CI-в него е равна на установените с M2D-3 и M2D-4 нейни максимуми над нивото на подземните води.

Композиране на модел FM3D

Основните положения при неговото композиране са.

- Съставен е с програмния пакет Modflow.
- Моделът включва два моделни пласта МП-1 и МП-2, с които са моделирани горният и долният слабо проницаеми пластове. В МП-2 са детерминирани 4 моделни зони – МЗ-2.1, МЗ-2.2, МЗ-2.3 и МЗ-2.4, симулиращи четирите зони с различна водопропускливост в долния слабо проницаем пласт (фиг. 6,6).
- Релефът на долнищата и горнищата на моделните пластове и зони следва морфологията на терена и пространствените форми на хидрогеоложките единици.
- Зададените в модела физичните, филтрационните и миграционните параметри са съобразени с приетите за всеки пласт и зони стойности (табл. 2 и фиг. 6,б). За коефициента на филтрация k е прието практикуваното в моделирането съотношение k_x = k_y = 10k_z.
- Регионалният поток е моделиран чрез симулиране на разход по северната граница по схемата GHB (General Head Boundary) (фиг. 6,а). В клетките по тези границите е прието, че напорът е равен на зададения начален напор. Използваната проводимост по границата е изчислена съобразно дебелината на моделния пласт и коефициента на филтрация в пласта или зоната, в която попада съответната моделна клетка.
- Дерето Големия Катранджия е включено в модела с гранично условие от III род (River) (фиг. 6,а).
- Инфилтрационното подхранване е зададено като постоянна величина във всички клетки от моделната област. Въведено е с гранично условие подхранване (Recharge), като скоростта на инфилтрация на чистите валежни води (извън границите на депото) е W=1,33x10⁻⁴ m/d, а скоростта на замърсения инфилтрационен поток е Wp=2,6x10⁻⁴ m/d.
- FM3D е калибриран по данни за водните нива в сондажите и в речните пунктове, измерени в хода на детайлното хидрогеоложко проучване (Стоянов, 2012).
- Композираният модел детерминира пространственото разпределението на градиентите и скоростите на подземните води в района на бъдещото депо. Същият е приет за основа в миграционните модели.

Композиране на ММ3D-1 и ММ3D-2

Накратко, работната схема и входните данни, при които са съставени двата модела са:

- Композирани са с програма MT3D-MS. Базират се на определеното с FM3D пространствено разпределение на градиентите и скоростите на подземните води.
- Изчислителната схема отчита конвективния пренос, обратимото елиминиране (сорбцията), механичната дисперсия, молекулярната дифузия и смесването.
- Зададените в моделите стойности на р_d, K_D, a_L и D_M са дадени в таблица 2.



Фиг. 6. Моделна мрежа и гранични условия. Моделни зони в МП-2.

Таблица 3.

Воден баланс от калибрирания FM3D.									
Приходни елементи (изто	Разходни елементи	(зони							
на подхранване), Qi ⁱⁿ ,	на дрениране), Qi ^{or}	^{it} ,I/s							
Инфилтрация на валежи	0,496	Дрениране в дерето							
Подхранване от север	0,004	и подземен отток	0.542						
Подхранване от дерето	0,017	извън обхвата на	0,342						
Инфилтрация под депото	0,023	водосбора							
Общо	0,540	Общо	0,542						

Балансова грешка 0,36 % (difference)







Фиг. 8. Резултати от прогнозните изчисления с MM3D-2. Замърсяване на подземните води при наличие на пласт от уплътнена глина и бентомат.

 Проекцията на дъното на депото върху границата между зоната на аерация и водонаситената зона е зададена като площен източник с постоянна концентрация на CI-. В MM3D-1 зададената постоянна концентрация е c_{CI} = 180 mg/l, а в MM3D-2 тя е c_{CI} = 30 mg/l.

Резултати от математическото 3D моделиране

Получените с 3D моделите решения показват следното:

- Структура на подземния поток. Моделното решение показва, че доминиращата посока на подземния поток е на Ю-ЮИ. Може да се очаква, че замърсените води ще мигрират в тази посока и ще се дренират в дерето.
- Воден баланс. На базата на определения с FM3D воден баланс може да се направи следния коментар: (1) В границите на водосбора естествени ресурси на подземни води са около 0,5 l/s. (2) Основната част от този ресурс (над 91%) се формира от инфилтрация на чисти валежни води, около 3-4 % е за сметка на речно подхранване и 1% идва от постъпващия по северната граница поток. (3) Инфилтрационният поток от депото съставлява едва 5-6 % в общия воден баланс. Това предполага, че след навлизане на замърсени води във водонаситената зона и при смесването им с чисти пластови води, концентрацията на съдържащите се в тях замърсители ще намалее с един порядък и повече.
- Замърсяване на подземните води. С ММЗD-1 и ММ3D-2 са прогнозирани размерите и степента на възможното замърсяване на подземните води за изчислително време от 100 г. Получените решения са илюстрирани с карти по съдържание на СІ- (фиг. 7 и 8), които показват очакваното разпространение на замърсителите в изчислителни моменти 50 и 100 г. след навлизането на замърсени води във водонаситената зона. Всъщност, тези моменти се предшестват от един период от няколко десетилетия, през който замърсените води се очаква да преминат зоната на аерация.

Анализ на резултатите от 3D моделите

Въз основа на получените моделни решения може да се направи следният коментар относно възможния обхват и степен на замърсяване на подземните води в района при наличие на една или две инженерни бариери:

- Посоката на хоризонталните компоненти на описващите миграционните процеси скоростни вектори, се контролира главно от градиентите на филтрационния поток. Ето защо, фронтът на замърсяване се движи на ЮИ, следвайки естествената посока на подземните води – към дерето Големия Катранджия.
- В резултат на концентрационните градиенти между замърсените и незамърсените подземни води замърсителите ще мигрират и в дълбочина. Достигайки до много слабо проницаемия скален комплекс, те ще започнат да се движат по посока на филтрационното течение, като формират характерен "шлейф".
- Резултатите от MM3D-1 показват, че ако под дъното на депото е положен пласт от уплътнена глина с дебелина 0,5 m, замърсяването ще обхване ограничена зона, в която максималната концентрация на CI- няма да надвишава 95 mg/l. В края на прогнозната симулация замърсените води ще достигнат до дерето, но в много ниски концентрации (около 10-15 mg/l) (фиг.7).
- Прогнозните решения от MM3D-2 дават основание в дългосрочен план да се очаква съвсем незначително замърсяване на подземните води, ако над глинестия пласт е положен и бентомат. В замърсената зона максималната концентрация на CI- няма да надвишава

18 mg/l. В края на прогнозната симулация (100 г.) замърсените води не биха достигнали до дерето (фиг. 8).

 Прогнозираните с MM3D-1 и MM3D-2 максимуми на очакваните концентрации в подземните води са доста по-ниски от установената в българския стандарт за питейни води пределно допустима стойност (250 mg/l).

От направения до тук анализ, естествено се налага заключението, че пластът от уплътнена глина и допълнителният пласт бентомат обезпечават много добра защита срещу евентуално замърсяване на подземните води за дълъг период след изграждането на депото.

Заключение

Представеният подход за оценка на възможна миграция на замърсители през долния изолационен екран от глини и задържащата способност на геоложката основа по примера ДБО на гр. Самоков, с успех може да бъде прилаган за оптимизиране на инженерните бариери, не само при проектиране на депа за отпадъци, но и на много други съоръжения, представляващи потенциални източници на замърсяване на подземните води и почвата.

Литература

- Гълъбов, М., Н. Стоянов, М. Панайотова. Изследвания върху миграционните характеристики на някои замърсители, постъпващи от сметищата в подземните води. Год. МГУ "Св.Ив.Рилски", т. 27, св. I, Геол., 1999. - 103-108.
- Стоянов, Н. Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депа за твърди битови отпадъци. Дисертация, МГУ, С., 2003. - 215 с.
- Стоянов, Н. Хидрогеоложо проучване и математически модел за оценка на замърсяването от ДТБО в землището на гр. Самоков – Хидрогеоложки доклад, Фонд на община Самоков, 2012. - 89 с.
- Стоянов, Н. Модели за оценка на защитния ефект на глинестия изолационен екран и на геоложката основа на новото ДБО на гр. Самоков, Отчет по дог. № ГПФ 177-2014, МГУ"Св. Ив.Рилски", С., 2014. - 36 с.
- Spitz, K., J. Moreno. A practical guide to groundwater and solute modeling. JW&S, Inc., NY, 1996. – 460 p.
- Healy, R.W. Simulation of solute transport in variably saturated porous media with supplemental information on modifications to the U.S. geological survey's computer program VS2D: USGS, Water-Resources Investigations Report 90-4025, Denver, Colorado, 1990. - 125 p.
- McDonald, J.M., A.W. Harbaugh. A modular three-dimensional finite-difference flow model. *Techniques of Water Resources Investigations of the USGS*, Book 6. 1988. – 586 p.
- Zheng, C., P. P. Wang. MT3DMS A modular 3-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. *Documentation and user's guide*. Dep. of geol. and math., Univ. of Alabama. 1998. – 239 p.

Статията е рецензирана от проф. дгн Михаил Гълъбов и препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и и инженерна геология"

ИССЛЕДОВАНИЕ, ОЦЕНКА И ТИПИЗАЦИЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БУРЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ МОНГОЛИИ

Цэвээнжав, Ж.¹, Дугэржав, Л.², Наранбат, М.³, Чинбат, Ч.⁴, Тувшинбаяр, Д.⁵, Ганбаатар, П.⁶, Улзийсайхан, О.⁷

¹ МГУНиТ, Буровая ассоциация Монголии, btseveen2003@yahoo.com

² Посольство Монголии в Болгарии, dugeree_mn@yahoo.com,

³Буровая ассоциация Монголии, naranbat_0502@yahoo.com

⁴ KOO "Монзол", monzol55@yahoo.com, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁵ ГРП ГОК Эрдэнэт, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁶ КОО "Тананимпекс" prv ganbaa@yahoo.com.

⁷ Стамбульский университет, Турция, olzii_mt@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Если 19-ый век характеризовался как промышленным, а 20-ый век-как информационным, то нынешный 21 век ознаменуется как технологическим веком. В настоящее время технология рассматривается как процесс превращений научных знаний, разработок и информаций, в основном, путём применения машин и оборудований в товары, услуги и естественно бизнес. Бурение как исследование, обслуживанние или бизнес является одним из сложных технологических процессов в минерально-сырьевой отрасли и весьма актуальными являются изучение, оценка технолического уровня этого вида деятельности, так как от технолоигческого совершенства бурения, во многом, зависят успехи и экономика геолого-разведочных и горно-добываюших промышленностей. От результатов исследований может быть сделаны следующие общие заключенич и выводы: Впервые разработана и апробирована методика изучения, оценки и типизация геолого-технических условий бурения геологоразведочных скважин на месторождениях, которая является общей и для других объектов бурения. Проанализированы, оценены и типизированы геолого-технические условия бурения, медно-молибденовых, медно-золоторудных и угольных месторождений Монголии, результаты которых могут быть распространены для других подобных месторождений полезных месторождений. В дальнейщем необходимо продолжить исследований подобного рода на найболее распространённых типов месторождений. как железорудных, полиметаллических и т.д.

Ключевые слова: бурение, оценка, геолого-технические условия, месторождения полезных ископаемых.

ИЗСЛЕДВАНЕ, ОЦЕНКА И ТИПИЗАЦИЯ НА ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИТЕ УСЛОВИЯ НА СОНДИРАНЕ НА НАХОДИЩАТА НА ПОЛЕЗНИ ИЗКОПАЕМИ НА МОНГОЛИЯ

Цэвээнжав, Ж.¹, Дугэржав, Л.², Наранбат, М.³, Чинбат, Ч.⁴, Тувшинбаяр, Д.⁵, Ганбаатар, П.⁶, Улзийсайхан, О.⁷

¹ МГУНиТ, Сондажна асоциация на Монголия, btseveen2003@yahoo.com

² Посолство на Монголия в България, dugeree_mn@yahoo.com,

³ Сондажна асоциация на Монголия, naranbat_0502@yahoo.com

⁴ КОО "Монзол", monzol55@yahoo.com, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁵ ГРП ГОК Эрдэнэт, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁶КОО "Тананимпекс" prv_ganbaa@yahoo.com,

⁷ Истамбулски университет, Турция, olzii_mt@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Ако XIX век се характеризира като промишлен, а XX век – като информационен, то настоящият XXI век може да бъде означен като технологичен. В днешно време технологията се разглежда като процес на трансформация на научните знания, разработки и информация, главно чрез използване на машини и оборудване, в стоки, услуги и естествено в бизнес. Сондирането като метод на изследване, обслужване или бизнес е един от сложните технологични процеси в минерално-суровинния отрасъл. Поради това е много актуално изучаването и оценката на технологичното ниво на този вид дейност, тъй като в голяма степен от технологическите качества на сондирането, зависи успехът и икономиката на геолого-проучвателната и минно-добивната промишленост. От резултатите на проведените изследвания могта да се направят следните заключения: 1) за първи път е разработена и апробирана методика на изследване, оценка и типизация на геолого-техническите условия на сондирането се опого-проучвателната и минно-добивната промишленост. От резултатите на проведените изследвания могта да се направят следните заключения: 1) за първи път е разработена и апробирана методика на изследване, оценка и типизация на геолого-техническите условия на сондиране с геолого-проучвателни сондажи на находищата, която се явява обща и за други обекти на сондиране; 2) Проанализирани са, оценени и типизирани геолого-техническите условия на сондиране на флуоритови, медно-молибденови, медно-златорудни и въглищни находища на Монголия, които резултатите може да бъдат използвани и за други подобни изследванията на най-разпространените типове находища на полезни изследвания и изследвания и изследвания и акодища; 3) В бъдеще е необходимо да се продължат подобни изследванията на най-разпространените типове находища на полезни изкопаеми като желозуци, полиметални и др.

Ключови думи: сондиране, оценка, геолого-технически условия, находища на полезни изкопаеми

Введение

Эффективность буровых работ во многом зависит от условий бурения. На производительность и качество бурения влияют технические средства, квалификация и опыт буровиков, назначения и скважин характеристика естественно свойства И проходимых горны хпород и природно-экономические условия района работ.

В данной статье мы излагаем основные результаты наших многолетных исследований по изучению условий бурения месторождений различных видов полезных ископаемых своей страны (Геология МНР, 1977).

Методика исследований

Методику, проведения такого рода исследований разработали, в основном, мы сами, критериями оценки и типизации условий бурения явились найболее важные, на наш взгляд, показатели бурения, такие как глубина-L, т (K₁), диаметр-D, mm(K₂) и угол наклона- α , градус(K₃),которыемырассматриваемкакхарактеристикискв ажин и отнесем к техническим условиям бурения, а такжебуримостьпород в разрезе-рм(K4), устойчивость-У(K5) и способностьвыдачипробы для исследований и анализов-(выход керна-Вк и выход шлама-Вш)(K6), которые мы отнесем к горно-геологическим условиям бурения (табл. 1).

После приведения натуральных (*реальных*) показателей, влияющих на трудоёмкость бурения на кодированные значения, мы используя функцию желательности Харрингтона легко можем получить обобщенный показатель оценки условия бурения последующей формуле:

$C = \sqrt[3]{K1 * K2 * K3 * K4 * K5 * K6}$

К1, К2...Кп –кодированные значения показателей функции желательности, в данном случае К1, К2, К3, К4, К5, К6, – кодированные значения реальных покателей геологотехнических условий бурения, таких как *К*, *Т*, *Д*, *H*, *D*, *α*.

Таблица 1

Реальные и кодированные значения факторов условий бурения(на примере бурния на твёрдых полезных ископаемых)

Фактары I		Предели	Предельколебания показателей					
Факторы		К, реаль	ные	К1, кодире	К1, кодированные			
Тип	Показатели	min	max	min	max			
	Категория буримости пород-К(К1)	I	XII	0,01	0,99			
Геологические	Устойчивость разреза–Т (К ₂)	1	3	0,01	0,99			
	Опробоваемость руд и пород-Д (К ₃)	80	100	0,99	0,01			
	Глубина скважины– Н, м (К₄)	200	2000	0,01	0,99			
Техникческие	Диаметр скважины–D, мм (К₅)	60	80	0,01	0,99			
	Угол наклона, α, градус (К ₆)	70	90	0,99	0,01			

С≤ 0,33 – благоприятное условие;

С=0,34-0,50 - нормальное условие;

С= 0,51-0,66-осложнённое условие;

С≥0,67–сложное условие.

Основная часть исследований

Используя такую методику, нами были собраны, проанализированы и подсчитаны обобщенный показатель оценки условий бурения по материалам, полученным при бурении1441 разведочныхскважин, 68 объектах 10-ти типов полезных ископаемых, таких как, флюоритовых, медно-молибденовых, медно-золоторудных, угольных, урановых и нефтяных месторождений и установлены степень трудности проведения буровых работ. Проведенные исследования показывают, что медномолибденовые, железорудные, полиметаллические и угольные месторождения нашей страны характеризуются сравнительно благоприятнымиусловиями при проведении разведочного бурения, а золоторудные, угольные и некоторые типы россыпных осадочных месторождений имеют средниепо осложненности условия (Комаров и др., 1981; Цэвээнжав, 1985, 1997, 1999, Цэвээнжав и др., 2000, 20126; Цэвээнжав, Тувшинбаяр,2011).

Видно, что флюоритовые месторождения, которые имеют сложные тектонико-магматические обстановки, а также основная масса урановых, оловянных и месторождения россыпного золота характеризуются, в основном, сложными условиями проходки разведочного бурения.

Изучение, оценка и типизация условий бурения флюоритовых месторождений

На территории, в основном на юго-восточной части страны, обнаружены порядка 360 плавиковошпатовых месторождений и проявлений, в основном гидротермально-метасоматического генезиса, с общим запасом более 70 млн. t. Они сильно подвержены тектоникомагматической активизации мезозойского времени, локализованы в большей степени неглубоко и имеют, в основном, линзовидную форму(табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что флюоритовые месторождения Бэрхинского рудного узла, характерным представителем является, открытое ещё в 40-ых годах прошлого столетия по информации местного пастуха Санж (поэтому в начальное время оно называлось месторождение Санж),

Бэрхинское месторождение. В неместь высокосортный (содержание САF₂-фтористого флюорит кальция колеблется порядка 60-85%), которы характеризуется самым благоприятным условиям бурение (С=0,28), хотя оно залегает глубоко и разработывалось подземным способом. Группа месторождений Бор-Ундер (позднее разработывалось как подземным так и открыным способамии, в настоящее время в этом районе работает обогатительная фабрика) и Дзун-Цаган-Дэл имеет нормальное условие (С=0,43) бурения, а месторождения Хар-Айракского района имеет осложненное (С=0.57), а месторождение Урген, южнее города Сайн-шанды, имеет сложное (С=0,69) геологическое условие проходки геологразведочных скважин.

Таблица2.

Показатели геолого-технических условий буренияна флюоритовых месторождениях Монголии

Показатоли	Типичные месторождения по районам							
Показатели	Бэрх	Бор-Ундур	Хар-Айраг	Ургэн				
глубина скважины, H, m	200	150	100	50				
диаметр бурения, Д, mm	76	76	76	76				
угол наклона скважигы, α ⁰	80-90	75-80	70-75	50-60				
категория по буримости, К	9	8,5	8,0	8,0				
выход керна, Вк, %	80-90	60-70	40-60	20-40				
устойчивость пород на стенках скважины, Т	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0				
Обобщённый показатель оценки условий бурения, С	0,28	0,43	0,57	0,69				

В результате многолетных исследований, нами обнаружены следующая закономерность, так с северовостока на юго-запад расположены такие крупные флюоритовые месторождения, как Бэрх, Бор-Ондер, Дзун Цагаан Дэл, Хар-Айраг, Хажуу Улаан, Бужигар, Орген и т.д., причём глубина залегания их, содержание флюорита (*CAF*₂-фтористого кальция) и запасы уменьшаютсяв названном направлении (табл. 3).

Таблица 3

Общая закономерность изменения условий разведки (бурения) и разработки (добычи)

		Преставительны	е месторождения			
Пока	азатели	Бэрх	Бор-Ундур	Хар-Айраг	Урген	
1	Геологическое строение	простое	сложное	очень сложное	весьма сложное	
2	Формы и размеры рудных тел	жильное (100- 1000m)x(0,5-8 m)	Жильное (100-500 m)x(0,4-5 m)	Жилы сложной конфигуризации и со апафизами (60-300m)x(1-4m)	Жилы сложного строения, в основном, горизонтального залегания (50-200m)x(3-14m)	
3	Запасы, млн. t	20	30	10	10	
4	Качество руд	сортовое	среднее	умеренное	плохое	
5	Цвет руды	зелённый фиолетов, голубой и синий	синий, серый, зелёноватый	Светло-синий, светло-зелённый, светло-серой	Светлый, светлосерый, погорелый	
6	Условие бурения	благоприятное	норьмальное	осложнённое	сложное	
7	Метод разработки	подземный	подземный	открытый	открытый	
8	Глубина разведки, m	200	170-180	90	120	
9	Глубина разработки, m	150	100	60	30	
10	Содержание САF ₂ , %	60-70	45-50	30-40	40-45	
11	Содержание СаСо з, %	0,5-2	1-3	2-5	24-33,3	

Изучение, оценка и типизация условий бурения медномолибденовых, медно-золоторудных месторождений (Цэвээнжав и др.,2012б)

Монголия имеет богатый ресурс медно-молибденовых, медно-золоторудных месторождений и они, в основном, медно-порфирового типа, что характеризует их глубинный генезис и сравнительно большой размеры и запасы. В настоящее времяq в нашей стране установлены такие крупныеq не только в странеq но и в Азии и во всем мире месторождения меди, как Эрдэнэтск(фиг. 1,2), Цаган Суврага (фиг. 3), и Оюутолгойобший запас, которых исчисляются более чем 50 млн. t чистой меди, сотни тысяч тонн молибдена и порядки несколько тысяч тонн золота.



Фиг. 1. Геологическая карта Эрдэнэтского медно-молибденового месторождения (Лигдэн, 1996; Ганболд, Отгон-Эрдэнэ, 2007; Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011)



Фиг. 2. Геологический разрез Эрдэнэтского медно-молибденового месторождения (Лигдэн, 1996; Ганболд,Отгон-Эрдэнэ, 2007; Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011)



Фиг. 3. Трёхмерный модель главного рудного тела Сэрвэнсухайт ЦагаанСуврагского месторождения (Лигдэн, 1996; Ганболд, Отгон-Эрдэнэ, 2007; Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011)

Геолого-технические условия бурения Эрдэнэтского медно-молибденого месторождения (Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011)

Месторождение открыто в 60-х годах прошлого столетия и представляет крупное штокверковую систему, близкую к поверхности (фиг. 1), имеющий общий запас порядка 5,6 млн t меди и сотни тысяч тонн молибдена.

На месторождении были пробурены в общей сложности почти 70 тысячи т геолого-раздедочного, в том числе порядка 58 тысяч тразведочного колонкового бурения. В таблице4 показаны объёмы бурения на этих месторождений только после 1990 года. В результате проведения этих работ, были подсчитаны запасы порядка 290 млн.t руды со средным содержанием меди 0,02%, что равноценны 5,8 млн. t чистого металла. Нами были определены динамическая прочность, абразивность и на основе этого буримость пород и руд этого месторождения, что очень важно для определения условия бурения. Исследования показывают. что на месторождении. в основном, распространены гранит, гранодиорит, диорит и т.д. то есть преобладают кислые магматические породы,медно-молибденовые руды в большинстве сульфидного типа, отмечены также окислённые бедные руды, имеющие категорию по буримости порядка VII-X, обладающие относительно невысокую абразивность (Кэл=0,21-0,74) (табл. 5).

Таблица 4.

Объёмы буровых работ на Эрдэнэтском месторождении после 1990 года.

N⁰	Назначение буровых работ	Объёмы бурен	ия, т		Итого, т
		(по способам б	урения)		
		колонковое	бескерновое		
1	Геологоразведочное	57900	-	-	57900
2	Гидрогеологическое	-	6044	2000	8044
3	Карьерное (взрывное)	-	4888728	-	4888728
4	Геотехнологическое	200	2560	1000	3760
	итого	58100	4897332	3000	4958432

Геолого-технические условия бурения Цаган-Суврагского медно-молибденового месторождения (Цэвээнжав, Тувшинбаяр,2011)

Разведка этого месторождения начата ёще с 1964 года, работала даже одноимённая Цаган-Суврагская геологразведочная экспедиция и в конце 70-х годов было открыто Цаган-Суврагское медно-молибденовое месторождение. Для проведения детальной разведки с подсчётом запасов и проведение геотехнических исследований в районе Цаган-Суврага в течении 2001-2008 г., компанией МАК проидены 280 разведочных скважин с общим метражом41272mu на участке Сэрвэн Сухайт установлены запасы медно-молибденовых руд порядка 4,6 млн. t.Кроме этого, на участке для водоснабжения горного предприятия и поселка были пробурены 23 гидрогеологических скважин с общим объёмом 4500 m, из них 3000 m бурения проведено по определённой сетке.

Главное месторождение Сэрвэн сухайт состоит из северного, центрального и южного участков, которые сложены из систем жильных тел, включающих монцонит, граносиенит, гранодиорит и т.д. среднего палеозоя, имеющие, как и Эрдэнэтское месторождение, первичное сульфидное оруднение и окислённые медномолибденовые руды.

Таблица5

Категория пород по буримости на Эрдэнэтском медно-молибденовом месторождении

Найменование пород и руд	F _A	К _{эл}	рм	Категория пород по буримости
	52,0	0,21	14,75	VII
плагиоклазитпорфирит	44,1	0,21	12,77	VII
	30,9	0,32	14,75	VII
	45,0	0,26	16,53	VIII
	43,9	0,35	21,85	VIII
кварц-плагиоклазитторфирит	36,7	0,38	20,49	VIII
	41,7	0,4	23,85	VIII
	35,6	0,34	17,55	IX
don aut	74,8	0,51	47,87	Х
фельзит	70,0	0,51	45,99	Х
гранодиорит	61,7	0,4	32,65	IX
метаморфизованныйгранодиорит	58,8	0,74	57,70	XI
порфировыйгранодиорит	40,3	0,37	21,17	VIII

Геолого-технические условия бурения Цаган-Суврагского медно-молибденового месторождения (Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011)

Разведка этого месторождения начата ёще с 1964 года, работала даже одноимённая Цаган-Суврагская геологразведочная экспедиция и в конце 70-х годов было открыто Цаган-Суврагское медно-молибденовое месторождение.

Для проведения детальной разведки с подсчётом запасов и проведение геотехнических исследований в районе Цаган-Суврага в течении 2001-2008 г., компанией МАК проидены 280 разведочных скважин с общим метражом 41272 m и на участке Сэрвэн Сухайт установлены запасы медно-молибденовых руд порядка 4,6 млн. t. Кроме этого, на участке для водоснабжения горного предприятия и поселка были пробурены 23 гидрогеологических скважин с общим объёмом 4500 m, из них 3000 m бурения проведено по определённой сетке. Главное месторождение Сэрвэн сухайт состоит из северного, центрального и южного участков, которые сложены из систем жильных тел, включающих монцонит, граносиенит, гранодиорит и т.д. среднего палеозоя, имеющие, как и Эрдэнэтское месторождение, первичное сульфидное оруднение и окислённые медномолибденовые руды.

Геолого-технические условия бурения Оюутолгойского медно-золоторудного месторождения (Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011)

Всемирно известное Оюу-толгойское месторождение было открыто недавно, хотя монгольские геологи давно знали о возможности присутствия такого рода глубоко залегающего оруднения порфирового типа. В Южной Гоби Монголии установлены Оюу-толгойская группа месторождений, включающаяся ХюгоДаммет, Южный Оюутолгой и Херуга (фиг. 4), общие запасы которых превышают 44 млн.t чистой меди и порядка несколько тысяч тонн золота.



Фиг. 4. Объёмный модель группы медно-золоторудных месторожденийОюу-Толгой на южной гоби Монголии: а.месторождение Херуга, б.месторождение южного Оюута, в.группа месторождений Хюго Даммета

На участках Оюутолгойского месторождения пробурены 1755 геологразвеочных скважин с общим объёмом 774260 m, со средней глубиной 1200-1500 m, а максимальная глубина скважины достигла до 2500 m. Здесь проидены партия наклонно-направленных и многоствольных скважин, с одного ствола пробурили до 6 скважин (*OTD-514*). Здесь были применены самые современные мощные и сверхмощные буроюые установки серии UDR-1000, UDR-1500, UDR-3000 и UDR-5000. Последная установка выпущена только в двух экземплярах, один из которых до настоящего времени распологается и работает в Монголии. Виды и объёмы бурения на участках Оюутолгойском месторождении, которые были проведении под менежментом интернациональной буровой компании Майжор-дриллинг, показаны в таблице 6.

Бурение в основном осуществлалось компаниями Мэйжор-дриллинг-Монголия (*Major drilling Mongolia*), Гобидриллинг, Кан-Азиа, Монголиан-дриллингсервис, AID и Сойлтрейд со использованием диаметров PQ (85 mm), HQ (63 mm), NQ (47,6 mm)и BQ (35,5 mm). Ниже, в таблице 7 показаны данные о геолого-технических условиях бурения найболее крупных медно-молибденовых и меднозолоторудных месторождений Монголии.

Таблица 6.

Виды и объёмы бурения на участках Оюутолгойской группы месторождений

Участки	Колонковое бурение		Шламовое бурение		Комбинирова бурение	нное	Всего скв.	Общий	
	кол-во скв. объём,т		кол-во скв.	объём,т	кол-во скв.	объём,т		OO DOW,III	
ХюгоДамметт	432	361560	25	1767	18 11142		475	374470	
ЮжныйОюут	582	267807	135	14488	5 2983		722	285278	
Херуга	38	44205					38	44205	
прочие	196	54504	324	15802			520	70306	
сумма	1248	728077	484	32057	23 14125		1755	774260	

Таблица7

Показатели геолого-технических условий бурениямедно-молибденовых и медно-золоторудных месторождений Монголии

Показатели	Эрдэнэт	Оюу-толгой	Цаган-суврага
Запасы, млн.t:			
руды	290	23000	240
чистого металла:			
меди	5,8	44	4,6
молибдена	0,09	-	0,044
золота	-	1828	-
Типы, формы и размеры	Близкое к поверхности	Вертикальны рудные тела	Многочисленные
оруднения	штокверковое тело	пространстве размером 4,32 km	жилы и массивы
Категория пород по буримости	VIII-IX	IX-X	VIII-IX
Выход керна, %	70	95	75
Коэффициент кавернообразования	1-3	~1	1-3
Объём бурения, тыс. m	~57900	~780000	~41000
Средняя глубина скважины,т	500	1000	300
Средный диаметр бурения, mm	70-75	70-75	65-70
Угол наклона ствола скважины,	70-75	80-85	70-75
градус			
Обощённый коэффициент оценки условия бурения-С	0,68	0,48	0,57

Из выщеизложенных результатов исследований можно заключить, что медно-молибденовые и меднозолоторудные месторождения Монголии, в основном, порфирового типа и харатеризуются различными условиями бурения, так Оюу-толгойское месторождение, хотя имеет глубокую локализацию и повышенную категорию пород и руд по буримости, но стенки скважины устойчивые, выход керна полный и в конечном итого характеризуется нормальное условие (C=0,48), a Эрдэнэтское месторождение. из-за околорудных изменений, имеет сложное условие разведочного бурения

(C=0,68), а Цаган-Суврагское месторождение характеризуется осложнённым условием (C=0,57).

Изучение, оценка и типизация условий бурения на угольных месторождениях (Цэвээнжав и др., 2011)

К настоящему времени в Монголии установлены более 400 угольных месторождений и проявлений (фиг. 5), из них найболее крупные месторождения насчитывают порядка 100 и на них подсчитаны запасы более чем 172 миллиард тонн, в том числе порядка 20 миллиардов тонн запасы подсчитаны по более высоким категориям.

В страны найдены и установлены запасы как коксующего, каменного так и энергетического угля всех геологических времён. Найболее крупное из них знаменитое Тавантолгойское месторождение имеет общие запасы 6,3 мрд t, более 1/3 из них коксующегося типа.

Нами были изучены и анализированы геологотехнические условия бурения найболее крупных 20угольных месторождений (табл. 8), таких, как известное всему Тавантолгойское в Южной Гоби(фиг. 6), Хуренгольское (фиг. 7) на западе в Алтайских горах и Тугрикнурское (фиг. 8) в Цайдамской мезозойской депрессии угольных месторождений, преставляющие от карбона до мезозойской времени.

Анализ полученных и проиллюстрированных в таблице 8 результатов показывают, что угольные месторождения имеют в основном, сложные условия бурения (C=0,72-0,76), которые может быть объяснены неустойчивостью и перемежаемостью вмещаюших пород и угольных пластов, трудностью получения керна и т.д.



Фиг. 5. Угольные бассейны и месторождения Монголии

Таван толгойн орд газрын геологийн зураг



Фиг. 6. Таван-толгойское месторождение

Хүрэн голын нүүрсний ордын геологийн зураг



Фиг. 8. Тугрик-нурское месторождение

Фиг. 7. Хурен-гольское месторождение

Таблица 8.

Показатели оценки геолого-технических условий бурения на угольных месторождениях

	Геол усло	огиче вия	еские	Техни услов	чески ия	e	Оценн геолог услов	а ⁻ически ий	x	Оценка условий	техни	ческих	затель повия
Наименование месторождений	Өрөмдөгдехзэрэг	Тогтворшил	Дээжнийгарц %	Цооноггүн м	Цооногголчмм	Налуугийнөнцөг	дрөмдөгдөхзэрэг	Тогтворшил	Дээжнийгарц	Цооноггүнм	Цооногголчмм	Налуугийнөнцөг	Обобщенный пока осложнённости усл бурения
Хартарвагатай	4	2	85,0	410	93	90	0,33	0,67	0,15	0,200	0,75	0,55	0,75
Хешеет	5	2	85,0	250	76	90	0,41	0,67	0,15	0,12	0,62	0,55	0,74
Хюрэнгол	6	2	90,0	250	93	90	0,50	0,67	0,10	0,120	0,75	0,55	0,74
Хотгор	6	2	85,0	150	76	90	0,50	0,67	0,15	0,073	0,62	0,55	0,74
Тавантолгой	6	2	85,0	500	93	90	0,50	0,67	0,15	0,240	0,75	0,55	0,75
Сайхан-овоо	5	2	80,0	540	76	90	0,41	0,67	0,20	0,260	0,62	0,55	076
Улаан-Овоо	6	2	80,0	480	76	90	0,50	0,67	0,20	0,230	0,62	0,55	0,76
Шарынгол	8	2	80,0	750	93	90	0,67	0,67	0,20	0,360	0,75	0,55	0,74
Могойнгол	6	2	80,0	350	93	90	0,50	0,67	0,20	0,170	0,75	0,55	0,75
Баянцагаан	9	3	80,0	280	76	90	0,75	1,00	0,20	0,130	0,62	0,55	0,74
Багануур	6	2	80,0	200	93	90	0,50	0,67	0,20	0,097	0,75	0,55	0,75
Цайдам	6	2	90,0	400	93	90	0,50	0,67	0,10	0,200	0,46	0,55	0,75
Шивээ-Овоо	6	2	80,0	250	93	90	0,50	0,67	0,20	0,120	0,75	0,55	0,75
Тэвшийнговь	6	2	85,0	100	93	90	0,50	0,67	0,15	0,048	0,75	0,55	0,75
Нарийн сухайт	6	2	90,0	250	93	90	0,50	0,67	0,10	0,120	0,75	0,55	0,75
Тегрегнуур	9	2	80,0	480	93	90	0,75	0,67	0,20	0,230	0,75	0,55	0,76
Чандганатал	6	2	90,0	200	93	90	0,50	0,67	0,10	0,097	0,75	0,55	0,74
Адуунчулуун	6	2	80,0	100	93	90	0,50	0,67	0,20	0,048	0,75	0,55	0,73
Талбулаг	4	2	85,0	150	76	90	0,33	0,67	0,15	0,070	0,62	0,55	0,72
Хеетийнхотгор	7	3	80,0	780	93	90	0,58	1,00	0,15	0,380	0,75	0,55	0,74

Изучениеи типизация условий бурения на урановых месторождениях (Цэвээнжав и др., 2012а)

Урановые ресурсы Монголии исчисляется в месторождения, в основном, имеющих гидрогенный тип. Найболее крупные из них расположены на северо-востоке (Дорнодская группа месторождений) и Юго-Восточной Гоби

в районы Сайн-Шанды (месторождения Дулаан Уул, Зоовч) и Средней Гоби (Хараат и Хайрхан). Нами были изучены и сделаны попытки сделать предварительную типизацию найболее типичных урановых месторождений по геологтехническим условиям бурения(табл. 9).

Таблица	9
---------	---

Типичные геолог-технические условия бурения на урановых месторождеиях

Месторождение	Тип оруднения	Горные породы, составляющие геологический разрез	Условия бурения
Гурванбулаг, Дорнод (<i>рудные</i> <i>тела №</i> 2,3,4,5,6,7), Мардайн гол	вулканогенные отложения позднего мезозоя и вулканогенные отложения позднего мезозоя с F-Mo-U комплексами	Андезит-базальт, трахидацит, риолит, игнимбрит, песчаник, алевролит, конгломерат, туф, гранодиорит	Глубина бурения относительно большая (300-500m), проявляются обвалы стенок скважины, потери промывочной жидкости и смыв керна
Хараат, Нарс	Осадочные отложения и U-REE образования	Песчано-гравилистые, песчано- глинистые отложения, глина, вулканит, базальт, лейкократ гранит	Обвалы стенок скважин, обмыв и растворение керна, потери промывочной жидкости

Изучениеи типизация условий бурения нефтяных месторождений

В Монголии нефтеносность была установлена ещё в начале 40-х прошлого столетия и разведка и разработка нефтяных месторождений особо интенстировалось после 1991 года, когда была утверждена "Закон о нефти".Так в настоящее время залицензированы все 32 площадей для разведки нефти, на 4х из них осуществляются как опытная, так и промышленная добыча нефти. Были пробурены более 1250 глубоких нефтеразведочных и эксплуатационных скважин, данные которых послужили основанием для изучения геолого-технических условий бурения на нефтяных месторождениях. Изучение и анализ этих данных послужило основанием для оценки геологусловий технических бурения на нефтянных месторождениях (табл. 10) как относительно простое, так как, отсутствует осложенения в связи с наличием солевых отложений и мощных толщ, набухающих и вспучивающих глинистых толщ, а также сравнительно небольшая глубина (до 2500-3000m) и в основном, проходка скважин в вертикальном направлении. В дальнейшем необходимо провести целонаправленное исследование по более детальной оценке и типизации геолого-технических условий бурения скважин на нефтяных, в будущем возможно и на газовых скважин.

Таблица10

E	~	-	~ ~ ¬	~
		L AMCAKORO I	haccoulla Roci	
	מטוטסעא טעטכרעא המ		טמננכמהם בטנו	

Месторасположение структуры	Тамсакский бассейн, Южно-Т	иклиналь)		
Потолок Нижне-дзунбаинской формации	3,0°~14,0°			
Потолок Цагаан-цавскойформации	3,0°~21,8°			
Усреднённая возвышенность рельефа	640m			
Глубина расположения верхней границы нижне- дзунбаинской формации	1832m~2310m (нижне- дзунбаинский горизонт)			
Глубина расположения верхней границы Цагаан-цавской формации	1872m~282m	'm~282m		
Блок	T19-67, TB96-38,T19-95, T19-X61-2, T19-69-3, T19- 46-3,T19-276, T162,T19- 56,T19-20	T19-69, T19-1-2	T19-78-2, T19-91, T19-115	
Общая глубина	1915m~3200m	2455m~2946m	2440m~3180m	
Количество эксплуатационных скважин(<i>178</i>)	предыдующие-6, в консервации-11, нормально работающие-55 (в том числе направленная-1) итого -72 скважин	предыдующая-1, в консервации-1, нормально работающие-17 итого- 19 скважин	предыдующая-11, в консервации-8, нормально работающие- 68, итого-87скважин	
Коллектор	Цагаанцав	Нижний Дзун-баин, Цаган-цавские формации находится в эксплуатации	НижнийДз-баин	

Заключения

В свете всех вышеизложенных результатов исследований может быть сделаны следующие общие заключенич и выводы:

1. Впервые разработана и апробирована методика изучения, оценки и типизация геолого-технических условий бурения геологоразведочных скважин на месторождениях, которая является общей и для других объектов бурения.

2. Проанализированы, оценены и типизированы геолого-технические условия бурения флюоритовых, медно-молибденовых, медно-золоторудных и угольных месторождений Монголии, результаты которых могут быть распространены для других подобных месторождений. 3. В дальнейщем необходимо продолжить исследований подобного рода на найболее распространённых типов месторождений полезных ископаемых, таких, как железорудных, полиметаллических и т.д.

Литература

- Ганболд, С.,Д.Отгон-Эрдэнэ. Мировая потребность меди и эксплуатация крупных месторождений меди Монголии. - В Сб. Технология, экономика и экология горной промышленности., 35, 2007. - 265-271 (на монгольском языке).
- Геология МНР. Том III. Полезные ископаемые. М., Недра. 1977. 580с.

- Комаров, М.А. В.М. Питерский и др. Методические рекомендации по типизации геолого-технических условий бурения скважин и разработке типовых технологических процессов. М. ВИЭМС. 1981.
- Лигдэн,Б. Эрдэнэт (Горно-обогатительное предприятие). УБ. 1996. - 401с.
- Цэвээнжав, Ж. Разработка оптимальной рецептуры промывочной жидкости для повышения устойчивости стенок скважин на флюоритовых месторождениях. Автореферат кандидатской диссертации, Москва, Ротапринт МГРИ. 1985.
- Цэвээнжав, Ж.Критерии оценки типизации условий бурения. - В Сб. Актуальные проблемы буровой службы Монголии. 3, 1997. - 12-43 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж. Исследование и типизация геологотехнических условий бурения флюоритовых меторождений Монголии. - В Сб. Актуальные проблемы буровой службы Монголии. 1/1. 1999. - 41-46 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж., А.Г. Калинин, В.В. Сутягин. Причины потери устойчивости стенок скважин на флюоритовых месторождениях Монголии. - В Сб. Технический прогресс в техника и технологии разведки МПИ. 1984.

- Цэвээнжав.Ж, Тувшинбаяр.Д. Исследование, оценка и типизация геолого-технических условий бурения медно-молибденовых и медно-золоторудных месторождений Монголии. - Журналь "Разведчик", 2/45, 2011. - 19-24 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж., М. Наранбат, П. Ганбаатар, Г.Баярмагнай. Исследование и типизация геолого-технических условий бурения флюоритовых месторождений Монголии. -*Журналь "Разведчик"*,1/44,2011. - 107-119 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж. и др. Изучение условий бурения месторождений полезных ископаемых. - В Сб. Актуальные проблемы буровой службы Монголии. 1/2. 2000. - 20-24 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж., М. Наранбат, Д. Ундармаа, Б. Саранхуу, О.Чимгээ. Исследование, оценка и типизация геологотехнических условий бурения урановых месторождений Монголии. - Журналь "Разведчик", 1/46. 2012а. - 184-192 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж., Т. Мункболд, Б.Мягмаржав. Изучение и оценка условий бурения нефтяных месторождений Монголии. - *В Сб. Нефть и газ Монголии*, 1/18, 2012б. - 49-54.

Эта статья была рецензирована доц. д-р В. Златанова.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕТО НА БЛИЗКО РАЗПОЛОЖЕНИ ФУНДАМЕНТИ НА СИЛОЗИ ЗА ЗЪРНО ПРИ НАЛИЧИЕТО НА СЛАБИ ЗОНИ В ЗЕМНАТА ОСНОВА

Ина Божинова-Попова

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, ina_bojinova@abv.bg

РЕЗЮМЕ. При изпълнението на силозни клетки в непосредствена близост една до друга, теоретично се очаква наклоняване на клетките една към друга. Това се дължи на сумиране на вертикалните напрежения в границата на двете тела. В статията е направено изследване върху взаимодействието на фундаментите на силозни клетки с диаметър 24,70 m и на разстояние 44 cm един от друг. Съгласно инженерно геоложкия доклад, под фундаментите на двата нови силоза съществуват пластове от насипи, пясък, глини в течно пластична консистенция и с органично съдържание и по-дълбоко – глинести почви в средно пластична консистенция. Направени са геодезически измервания за определяне на слягането на фундаментите на вече изпълнени силози при същите условия. Получени са слягания за период от четири години в рамките на 10 – 12,5 cm, като е маркиран и относителен наклон на фундаментите от 0,00023 до 0,0003. Измервания и слягания и наклони и на новопсотроени силозни тела, които за период от тетири собяснено е несъответствието на резултатите, като е направено е сравнение между теоретично определените слягания и наклонявания и измерените слягания и измерените стойности. Обяснено е несъответствието на резултатите, като е направено предложение за подобрение на метода за определяне на сляганията при взаимодействието на двата фундамента чрез корекция на напреженията в почвената среда в страни от фундаментите.

Ключови думи: почви, земна основа, слягане, наклоняване, фундаменти.

DETERMINING THE INTERACTION OF CLOSELY POSITIONED FOUNDATIONS OF GRAIN SILOS IN THE PRESENCE OF WEAK AREAS IN THE GROUND FOUNDATION

Ina Bozhinova-Popova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, ina_bojinova@abv.bg

ABSTRACT. In the execution of silo cells in close proximity to one another, cell inclination towards the neighboring ones is expected in theory. It is due to the summing of vertical stresses within the perimeters of both structures. The article studies the interaction of the foundations of silo cells with a 24,40 m diameters, positioned 40 cm from each other. According to the engineering geological report, under the foundations of both new silos there are layers of embankment, sans, clays in a very soft consistence form and with organic content and, at a deeper level – clay soils of medium stiff consistence. Surveys were carried out to establish the settlement of the foundations of the existing silos, in the same conditions. The settlement for a four-year period amounted to 10 - 12,5 cm, and the surveys established also a relative inclination of the foundations, within a four-month period. A comparison was made between the theoretically established settlement and the actual measured values. The discrepancy between the results was explained, making a suggestion for the improvement of the method for establishing the settlement in the interaction of both foundations through a correction of the stresses to the soil environment by the foundations.

Key words: soils, ground foundation, settlement, inclination, foundations.

Въведение

При близко разположени фундаменти се получава суперпониране на напрежения в земната основа под близките краища на фундаментите. Това става причина за наклоняване на фундаментите един към друг, често с много неприятни последици. Взаимодействието на близко разположени фундаменти е особено актуално в застроени райони, при които се налага изграждане на сгради в непосредствена близост, при тежки промишлени съоръжения, които технологично трябва да се монтират на близки разстояния, при допълнително изградени разширения на промишлени и жилищни сгради и при силозни клетки, които винаги се изпълняват непосредствено една до друга, като същевременно са натоварени със значителни товари от зърнени храни,

петролни продукти, инертни материали или от друго естество. Като следствие от теоретичните решения, може да се очаква, че това взаимодействие е значително, т.е. наклоняването трябва да бъде в големи размери, особено при по-слабите почви. На практика, обаче, се установява, че това взаимодействие е много по-слабо, в сравнение с теоретичните решения.

Предмет на изследване

По-долу е направено изследване на взаимодействието при слягането на две силозни тела, фундирани на квадратни фундаменти с размери 24,70x24,70 m², разположени на разстояние 44 cm една от друга. Силозните клетки са изградени в пристанище Бургас и взаимното разположение на фундаментите е показано на фигура 1. Фундирането е на дълбочина 2,0 m от нивото на съществуващия терен. Натоварването на земната основа е по 150 кРа от всеки фундамент (фиг. 1).



Фиг. 1. Ситуация в план и профил на фундаментите на двата силоза

Нивото на подземните води е на нивото на морето и на дълбочина 1,5 m от повърхността на терена, която е приета за основа на всички останали коти.

Земната основа е изградена от почвените разновидности, показани на литоложката колонка (фиг. 2). На нея са дадени и стойностите на обемното тегло на почвите под вода.

Сондажна колонка на							
<u>Обе</u>	МС— I <u>Обект:</u> Силози, гр. Бургас						
Пласт, Ж	Дълбочина, м	Дебелина, м	Геоложки индекс	Pacmep	Поява на водната нива ат кота терен м	Описание на литоложките разновидности	Обемно тегло на почвите под вода у кн/т ³
1	3.40	3.40			1,50	Доменна шлака	12.0
2	9.60	6.20				Сив пясык с миди и чакыли, прахов, дребен, средносбит, морски	9.0
3	17.60	8.00				Тинеста глина в течно— до меко пластична консистенция	5.75
4	22.60	5.00				Глина, сива, среднопластична	9.55
5	34.60	12.00				Глина, кафяба в твърдопластична консистенция	8.65

Фиг. 2. Литоложка колонка на почвените разновидности от земната основа на силозите

Деформационните характеристики, които имат отношение към сляганията на фундаментите, са определени по лабораторен начин и чрез изпитвания "in situ" чрез SPT. Данните от SPT-изпитванията са обработени по два начина: по метод, даден в СП 47.13330.212 – приложение И (СНиП, 2012) и по метод, даден от G. Sanglerat (Sanglerat, 1965). В таблица 1 са дадени стойности на деформационните модули на почвените разновидности, след обработката на резултатите, получени чрез различните методи и чрез "обратни" изчисления, на основата на измерените слягания. Тези модули се приемат като реални и се използват в следващите изчисления, тъй като отговарят на данните от измерванията.

Таблица 1.

	=	-	-			
Пласт	Деформационен модул E, MPa					
	По лаб.	По обратни				
Nº	Данни по СНиП по Sanglerat		изчисл.			
1	-	25,0	25,0	25,0		
2	9,0	25,0	20,0	21,0		
3	1,64	5,3	7,0	10,0		
4	15,0	15,0	17,0	17,5		
5	11,8	25,0	35,0	35,0		

Сравнителна таблица за стойностите на деформационния модул Е, получени по различни методи

За дадените размери и натоварване са определени вертикалните напрежения в земната основа на фундаментите. Графиките на напреженията са дадени на фигура 3. Активната мощност на слягане е определена от условието, че на нейната долна граница напреженията от фундаментите трябва да са равни на 20 % от геоложкия товар – $\sigma_z = 0.2\sigma_V$ (БДС-ЕN, 1997). По този критерий, дълбочината на активната зона на слягане е H_a = 24,5 m.



Фиг. 3. Определяне на активната мощност на слягане H_A по Steinbrenner

На фигура 4 са дадени напреженията под ръба на единия фундамент, създадени от натоварването на съседния фундамент, изчислени по класическия метод (БДС-ЕN, 1997). Би следвало тези напрежения да предизвикат допълнително слягане, което ще се изрази като наклоняване на двата фундаменти един към друг. Определеното по този теоретичен начин допълнително слягане, което води до наклоняването на фундамента, е 9,5 cm. Тази стойност не отговаря на измереното наклоняване, поради което следва да се определи нова диаграма на разпределение на напреженията от съседния фундамент.



Фиг. 4. Диаграми на напреженията (по Steinbrenner) в ръбовете на съседните фундаменти, предизвикани от взаимодействието.

На същите фундаменти са измерени сляганията за период от 4 месеца, за който може да се приеме, че консолидацията на земната основа е завършена. Измерените слягания са в границите на 10 – 12,5 ст. По данните от измерените слягания се определя наклоняване на фундамента tg $\theta \approx \theta = 0,00023 - 0,0003$. Стойностите са различни за различните силозни тела.

Очевидно, измереното наклоняване е в пъти по-малко от прогнозираното, получено по теоретичен път - tg0=0,0038.

За да се определят напреженията, които са предизвикали допълнителното слягане на близо разположения ръб на съседния фундамент, се приема хипотеза за съответни допълнителни напрежения, които да отговарят на условието, че непосредствено под фундамента напреженията от съседния фундамент са нула. Те са нули и на долната граница на активната слегваема мощност на земната основа. Най-близката възможна конфигурация на диаграмата на напреженията може да бъде синусоида, която в най-общ вид да се определя по формулата:

$$\sigma_s = A.\sin\frac{\pi . z}{L} \tag{1}$$

където:

А - коефициент, който определя "стрелката" на синусоидата и нейната площ и приема дименсията на напрежението; L - дължината (дълбочината) на активната зона на слягане, m; z - текуща координата на функцията в дълбочина, m.

Функцията удовлетворява граничните условия, тъй като за z = 0, σ_s е нула, както и за z = L напрежението σ_s също е нула. Коефициентът A се определя от условието, че сумата от парциалните стойности на площите на синусоидата, разделени на деформационните модули на

почвените разновидности за всеки пласт, трябва да даде допълнителното слягане на фундамента, определено от измерването.

Като се приемат реалните стойности на деформационните модули на отделните почвени разновидности, дадени в таблица 1, както и дебелините на отделните пластове, допълнителните слягания при напрежения, формирани като синусоида, ще имат общата стойност:

$$\Delta s = \frac{A}{35000} \int_{0}^{4} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{17500} \int_{4}^{9} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{12000} \int_{9}^{13} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{10000} \int_{13}^{17} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + (2) + \frac{A}{21000} \int_{17}^{23} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{25000} \int_{23}^{24.5} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz = A.0.001085$$

Получената стойност Δs е равна на допълнителното слягане на ръба на фундамента, което е определено на 0,006 m.

Следва уравнението за определяне на А:

$$0,001085A = 0,006,$$
 (3)

от което се определя коефициентът А:

$$A = 5,53 \text{ kN/m}^2$$
 (4)

Сляганията на отделните пластове в зоната на активната мощност на слягане се получават, като се умножат площите на отделните интеграли по коефициента "А":

$$\Delta s_1 = A.0,000029 = 0,00016 m$$

$$\Delta s_2 = A.0,000208 = 0,0115 m$$

$$\Delta s_3 = A.0,00325 = 0,00179 m$$
 (5)

$$\Delta s_4 = A.0,000371 = 0,00305 m$$

$$\Delta s_5 = A.0,000152 = 0,00084 m$$

$$\Delta s_6 = A.000006 = 0,000033 m$$

Както се вижда, най-голямо слягане показват пластове 2, 3 и 4, които имат най-ниски деформационни модули.

На фигура 5 е дадена схема на синусоидалното разпределение на напреженията под ръба на единия фундамент, създадени от съседния фундамент.

Съчетанието на двете напрежения под ръбовете на двата съседни фундамента е показано на фиг.6.

За да се предотврати взаимното завъртане на фундаментите, е необходимо двата фундамента да се свържат и връзката да се оразмери така, че да се уравновесят огъващите моменти, които предизвикват завъртането. За целта се използва формула за определяне на завъртане на фундаменти (БДС-EN, 1997). Постановката е, че за полученото завъртане на фундаментите е необходим огъващ момент, получен от формулата – връзка между завъртане и огъващ момент (формула 6). За този огъващ момент се оразмерява връзката между двете силозни тела.



Фиг. 5. Схема на разпределение на напреженията (под форма на синусоида) под ръба на единия фундамент, създадени от натоваравнето на съседния фундамент



Фиг. 6. Диаграми на напреженията (определени по метода чрез синусоида) в ръбовете на съседните фундаменти, предизвикани от взаимодействието.

Като междинна стойност на наклоняването (завъртането), получена при измерването, се приема $tg \theta \approx \theta = 0,0003$. Използва се формулата за

завъртане на фундамент от действието на момент (БДС-EN, 1997):

$$tg\theta = \frac{1-\mu^2}{E} K \frac{M}{(b/2)^3}$$
 (6)

където:

θ – завъртане на фуданмента; µ - коефициент на Поасон за Пласт 1 (в който попада фундамента); Е – деформационен модул, kN/m² (среднотежестна стойност за всички пластове); К – коефициент, който зависи от формата и размерите на фундамента (таблично определен); b – ширина на фундамента, m; М – огъващ момент, kNm.

$$0,000282 = \frac{1 - 0,3^2}{14838}.0,75.\frac{M}{12,35^3}$$
(7)

От решението на уравнението се получава огъващ момент M=11560 kNm (за цялата дължина на фундамента в зоната на връзката между двете тела). Това изисква съответната армировка в междинната връзка на фундаментите. Тази постановка и размерите на така определения огъващ момент са приети и изпълнени при фундирането на силозни тела 4 и 5 на пристанище Бургас.

Изводи

Влиянието на съседните фундаменти е много по-малко от теоретично определените стойности, главно поради наличието на така нареченото силно стеснено "ветрило на напреженията", което ограничава напреженията в страни от фундаментите до незначителни стойности. Това показва, че взаимодействието на близкоразположените фундаменти не следва да се определя по теорията за разпределение на напреженията, определени по закона на Бусинеск. Изводите и заключенията са приети при изпълнение на две близкоразположени силозни тела на пристанище Бургас.

Литература

- БДС EN, 1997, Геотехническо проектиране. Част 1 и 2, 2004.
- СНиП 11-02-96, Приложение И "Определение физикомеханических характеристик грунтов по результатам статического и динамического зондирования при инженерно-геологических изысканиях", 2012. -105-108.
- Sanglerat G., *Le penetrometre et la reconnaissance des soils*, DUNOD PARIS, 1965. -98-131.

Статията е рецензирана от доц. д-р инж. Стефчо Стойнев и препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".

ДЕФОРМАЦИОННИ СВОЙСТВА НА СТРУКТУРИРАНИ ГЛИНИ

Ася Божинова-Хаапанен

Университет по архитектура, строителство и геодезия, София 1164, E-mail: assia_bo2002@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Определянето на деформационните модули на почвите и в частност на глините е една от основните задачи при лабораторните и полевите инженерно геоложки изпитвания. Специфичните свойства на глинестите почви трябва да се вземат под внимание при определянето на слягането на земната основа на съоръженията. От съществено значение е и точното моделиране на действителното напрегнато състояние при почвените проби. Настоящото изследване е насочено към неогенските сиво-зелени и сиво-сини глини от Лозенецката свита на Софийския басейн. Инженерно геоложките изследвания, провеждани за тези отложения дават високи стойности за коефициента на порите, ниски обемни плътности на скелета и в същото време високи деформационни модули. Направените е ектронно микроскопски снимки показват здрав структурен скелет. Определено е влиянието на структурните особености, както и влиянието на вида на напрегнатото състояние върху деформационното поведение на почвените проби.

Ключови думи: Структура, деформационен модул, напрежение, деформация, триосово напрегнато състояние

DEFORMATION PROPERTIES OF STRUCTURED CLAY SOILS Assia Bozhinova-Haapanen

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia1164, E-mail: assia_bo2002@yahoo.com

ABSTRACT. Determining the moduli of deformation of the soils, particularly of clay soils, is one of the most important tasks in the laboratory and in situ engineering geological tests. For proper estimation of the construction subsoil settlement, it is necessary to take into account the specific properties of the clay soils. The correct stress-strain condition for soil samples is of a high importance too. The present study is directed to Neogene greyish blue and greyish green clays from the Lozenetz Formation in the Sofia basin. The engineering geological tests made for these deposits show high porosity, low dry density and at the same time high moduli of deformation. The electron microscope pictures reveal strong structural skeleton. The influence of structural features, as well as the influence of the type of stress state of the soil samples on the deformation behaviour of the clays, is defined.

Key words: Structure, modulus of deformation, stress, strain, triaxial compression

Въведение

Глинестите отложения са резултат на седиментационни процеси. По време на утаяването, в зависимост от условията, при някои от тях протичат химични процеси, водещи до образуване на фазови контакти между отделните глинести минерали. Такива почви показват различно механично поведение, когато са изследвани в лабораторни условия и in situ (Shibuya, et al., 2005). Едни от основните причини за това са нарушаването на почвените проби при изваждането им от масива и невъзможността за моделиране на абсолютно същото напрегнато и деформирано състояние на почвата в лабораторни условия.

Теоретична постоновка

При структурираните глини са характерни значителни разлики в кривите на компресия, показани на фигура 1, а. Тези криви предполагат и по-високи якостни свойства (фиг. 1, б). Известно е, че при по-слабите почви, тези криви се припокриват (фиг. 1, в). и моровите окръжности имат близки диаметри (фиг. 1, г), което обуславя и по-ниските якостни характеристики. От близостта на трите криви при слаби почи следва, че деформационните модули са ниски и хоризонталните напрежения не водят до тяхното нарастване.



Фиг. 1. Теоретични криви от изпитване в триосова компресия а), б) - структурирани глини; в), г) - слаби почви; 1. диаграма на слягане при $\sigma_3 = 0,1$ MPa, 2. диаграма на слягане при $\sigma_3 = 0,2$ MPa, 3. диаграма на слягане при $\sigma_3 = 0,3$ MPa; σ_1 '' - вертикално напрежение при всестранен натиск $\sigma_3 = 0,1$ MPa; σ_1 ''' - вертикално напрежение при всестранен натиск $\sigma_3 = 0,2$ MPa; σ_1 ''' - вертикално напрежение при всестранен натиск $\sigma_3 = 0,3$ MPa

Предмет на изследване

На изследване са подложени глини от долния комплекс на Лозенецката свита на плиоцена в Софийския басейн. Най разпространените представители на този комплекс са сиво-сините и сиво-зелените глини.

Тези отложения носят в голяма степен вертикалните товари и взаимодействат с околните стени на сградите и съоръженията при земен, хидростатичен и сеизмичен натиск. От досегашните проучвания и строителство са известни някои най-обши техни характеристики: висока степен на водонасищане, висок коефициент на порите, ниска обемна плътност на скелета, високи деформационни модули, наличие на микро напуканост, сравнително здрави структурни връзки (Петров, Илиева, 1960). При постоянна плътност и водно съдържание, след нарушаване на естествения им структурен скелет, проявяват набъбващи свойства.

В същото време, извършени измервания за действителното слягане на сгради показват значителни разлики с прогнозните – хотел Шератон (вместо прогнозните 4,5 cm, измереното слягане е 1 cm), сграда на Министерството на пощите и съобщенията (вместо прогнозните 8,5 cm, на практика е слегнала 2.5 cm). едропанелни сгради в кв. Надежда (прогнозно слягане - 4,5 ст, измерено - 2 ст). Резултати от слягане на сгради и съоражения в столицата, както и вероятните причини за това, са публикувани от Божинов (1968), Bozhinova, Ilieva (1990), Bozhinova (1992), Франгов и др. (1999).

Все още пред инженер геолозите и геотехниците стои въпросът за определяне на меродавни характеристики, които са изходна база за правилно изясняване на взаимодействието съоръжение – почва.

Определянето на това взаимодействие трябва да се съобразява с две противоречиви изисквания - от една страна удовлетворяване на високите критерии за сигурност на конструкцията, което се постига чрез занижаване на показателите на свойствата на почвите, и от друга - икономичност на решенията, което ограничава това занижаване до обоснована граница.

Отчитането на специфичните особености на глинестите отложения е наложително при определяне на риска и възможните икономически решения.

Изследване на структурата

За определяне на структурата на глинестите почви е използван електронен микроскоп. За да се запази естествената им структура, пробите са предварително обработени във вакуум. Изследванията са направени в Геологическия институт на БАН.

Снимките с електронен микроскоп показват, че сивосините и сиво-зелените глини са със здрав структурен скелет (фиг. 2 и 3). В тях преобладават фазовите контакти, като в същото време имат добре изразена порестост.



Фиг. 2. Електронномикроскопска снимка на плиоценска сиво-синя прахова глина от долния комплекс.



Фиг. 3. Електронномикроскопска снимка на плиоценска сиво-зелена прахова глина от долния комплекс.

Формирането на глините от долния плиоценски комплекс е ставало в условия с оструктуряващи фактори. Характерен за тези отложения е здрав структурен скелет, който е възпрепятствал литификационното уплътняване. Най-вероятно процесите на литификация и гравитационно уплътняване са били възпрепятствани от бързото втвърдяване на скелета, който е останал порест, но с преобладаване на микропори, в които се задържа имобилизирана вода.

Изследвания за деформационните свойства

Проби от сиво-зелени глини са изпитани в условия на стандартна компресия и в триаксиален апарат. Пробите са от дълбочина 8,5 m - 8,7 m от територията на гр. София и се характеризират със следните физични показатели: $\rho_s = 2,73 \text{ g/cm}^3$

e = 0.78

 $W_n = 27 \%$

 $W_1 = 39 \%$

 $W_{p} = 22 \%$

 $l_{\rm p} = 17 \%$

 $I_{c} = 0.71$

w_{max} = 28,5 %

- специфична плътност
- обемна плътност $\rho_n = 1.95 \text{ g/cm}^3$ n = 44 %
- обем на порите
- коефициент на порите
- естествено водно съдържание
- граница на протичане
- граница на източване
- показател на пластичност
- показтел на консистенция
- максимално водно съдържание
- степен на водонасищане $S_r = 0.95$

При изпитване на стандартна компресия, напрегнатото състояние е ососиметрично и се създава чрез прилагането на осово натоварване – σ_1 . Като се използва обобщеният закон на Хук се получава страничен натиск – σ_3 = $K_0.\sigma_1$. K_0 е така нареченият "коефициент на страничен натиск в покой" и като се използва зависимостта на Хук, се получава:

$$K_0 = \frac{v}{1 - v},$$

където: v е коефициента на Поасон и за глините от долния комплекс на Лозенецката свита има стойности от 0,12 - 0,32 (Bozhinova, 2015).

Съгласно действащите български стандарти, изпитванията на компресия се извършват във водонаситено състояние на почвите. На практика, това състояние не винаги е налице, особено при плиоценските почви, които са водоплътни и често имат коефициенти на водонасищане доста под единица.

При това изпитване пробните тела са малки и не позволяват отчитането на "началния хидравличен градиент" – І_{нач}. Поради малките височини на пробните тела, не може да се прояви ефектът от началния градиент. Този градиент на практика блокира деформациите на глинестите почви и особено на плиоценските глини, които имат висок начален градиент (в някои случай над 10) и ниски коефициенти на филтрация.

Използването на деформационните показатели, получени от компресия не моделират точно действителното напрегнато състояние на почвите от земната основа на сградите и съоръженията, тъй като на практика, отношението на главните нормални напрежения в основите на фундаментите се създават от специфичните условия на натоварване и геоложкия товар в отделни точки на земната основа.

Въз основа на проведените опити е изчертана зависимостта S = $f(\sigma)$ (фиг. 4).



Фиг. 4. Компресионна крива на изследваната почвена проба

Изпитването на пробното тяло в триаксиална камера предполага натоварване при определени комбинации на всестранния натиск – σ₃ и вертикалното напрежение – σ₁. По този начин се получава възможност за определяне на деформационните модули за очаквани двойки проектни главни напрежения стойности на двете под фундаментите, така че да се имитира, по възможно найточен начин, напрегнатото състояние на тяхната земна основа (Божинов, 1970). Изпитванията могат да се правят при естественото или друго водно съдържание на почвата, макар че едно водонасищане трудно може да се хомогенизира.

Натоварването става на стъпала, като се изчаква затихване на деформациите на всяко стъпало. С това се имитира до известна степен натоварването при едноосова компресия, както и при изпитвания с пресиометър или дилатомер.

Получените резултати са обобщени в графики на фигура 5.



Фиг. 5. Крива на слягане S = f(σ₁) при различни σ₃

За различни стойности на двете напрежения са определени деформационните модули по принципа на определяне на модулите, както при стандартна компресия. Резултатите от така определените модули са показани на фигура 6.

Характерно за деформационните модули е голямото влияние на всестранния натиск. На приложените фигури се вижда, че при определени комбинации на двете главни напрежения, понякога всестранният натиск води до значително увеличение на модулите. Така например, ако при главно нормално напрежение σ₁= 0,35 MPa и σ₃ = 0,1 MPa, деформационният модул е 12 MPa, то при същото главно нормално напрежение и всестранен натиск от 0,3 MPa, деформационният модул е вече 32 MPa или два пъти по-висок. Подобни стойности могат да се отчетат и за други комбинации от двойки главни нормални напрежения.



Фиг. 6. Деформационни модули на изследваната почвена проба

Заключение

Малката слегваемост, голямата якост и способността да набъбват след разрушаване на естествената структура при сиво-сините и сиво-зелените прахови глини могат да се обяснят със здравите контакти между частиците им. Характерът на микроструктурата обяснява и високите стойности на деформационните модули.

Неотчитането на влиянието на страничния натиск също води до значителни грешки при определяне на деформационните свойства на изследваните глини.

Особено важно е, че в дълбочина всестранният натиск се увеличава, главно за сметка на геоложкия товар и това

води до намаляване на дълбочината на активната зона на слягане. Дълбочината й става значително по-малка в сравнение с определените й стойности по единствения критерий - $\sigma_z = 0,2 \sigma_Y$.

Направените до сега наблюдения и съпоставки на резултатите в различни условия на изпитване показват, че при проектирането съществуват резерви, разкриването на които може да доведе до сериозни икономии. Отчитането на специфичните особености на глинестите отложения е наложително при определяне на риска и възможните икономически решения.

Литература

- Божинов, Б. Изследване на слягания на едропанелни сгради у нас. *сп. "Строителство", кн.* 9, 1968, 9 -14.
- Божинов, Б. Определяне на сляганията на фундаментите на базата на деформационни модули определени при триосова компресия на почвата. - *сп. "Пътища"*, 1970, -5 -11.
- Петров, П., Л. Илиева. Физикомеханични свойства на кватернерните и плиоценски отложения на територията на София. Изе. на ГИ, БАН, т.VIII, 1960, -133-192.
- Франгов, Г., Р. Върбанов, П. Иванов. Проблемът на слягането на земната повърхност в Софийската котловина във връзка с пониженията на нивата на подземните води. *Минно дело и геол., кн.1-2*, 1999, 27-31.
- Bozhinova, A. Influence of the Deformation Characteristics of the Pliocene Clays and Sands upon the Construction of Sofia Underground. - *In: Proc. Conference YGEC, Portugal,* 1992, - 114 -117.
- Bozhinova, A., Studies on the Poisson's ratio of Pliocene clays on the territory of Sofia city. - *In: Proc. 15-th International Multidisciplinary Scientific conference SGEM*, 2015, - 783-789.
- Bozhinova, A., L. Ilieva. Structural and Mechanical Properties of Sofia Clays. - In: Proc.VI-th International Congress of Engineering geology, 1990, 1809-1812.
- Shibuya, S., Li, D., Noda, T., and Nakano, H. Mechanical Behavior of Structured Clay and Its Simulation. -*Geomechanics*, 2005, - 286-306.

Статията е рецензирана от доц. д-р Стефчо Стойнев и препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".

EVALUATION OF THE GROUNDWATER RECHARGE FOR THE DANUBIAN PLAIN (NORTHERN BULGARIA) BASED ON CLIMATIC DATA

Tanya Vasileva, Tatiana Orehova

Geological Institute, BAS, 1113 Sofia, tanyav@geology.bas.bg

ABSTRACT. Long-term groundwater recharge is a valuable characteristic for the groundwater management. It is subject to changes under pressure of the substantial climate variability, common for South-Eastern Europe. The aim of the study is to evaluate the groundwater recharge for the Danubian Plain (Northern Bulgaria) based on climatic data.

The method used is based on the water balance equation (Miegel et al., 2013) and requires the following climatic data: the average monthly air temperature, precipitation sums and solar radiation. It is assumed that the actual evapotranspiration during the cold period of the year (October-March) is equal to the potential. The potential evapotranspiration is calculated by the Turc radiation equation. The ratio of actual evapotranspiration to potential evapotranspiration for the Danubian Plain is assessed using a simple linear regression equation with one independent variable – the aridity index. This equation is obtained on the basis of the climate and soil data typical for the study area.

The average annual groundwater recharge is assessed for 27 stations from the Danubian Plain. The obtained results are presented both in tables and on maps with contour lines. The maps represent regional distribution of the respective values. The special case of the Northeastern part of the country, where karst rocks are overlain by thin soils is not considered. Both the advantages and the limitations of the method are described. The estimates made for the period 2000-2011 in respect to these for the 20th century show increasing air temperature, potential evapotranspiration and the respective reduction of the groundwater recharge.

The method used is applicable to flat terrain with negligible surface runoff and interflow. It is not appropriate in areas with shallow groundwater table. In general, the method shows good results and can be recommended for wider use within its limitations.

Key words: water budget, groundwater recharge, Danubian Plain, Northern Bulgaria

ОЦЕНКА НА ПОДХРАНВАНЕТО НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ В ДУНАВСКАТА РАВНИНА (СЕВЕРНА БЪЛГАРИЯ) ПО КЛИМАТИЧНИ ДАННИ

Таня Василева, Татяна Орехова

Геологически институт, БАН, 1113 София, tanyav@geology.bas.bg

РЕЗЮМЕ. Информацията за подхранването на подземните води, характеризиращо техния възобновяем ресурс, е необходима при управление на водните ресурси. Подхранването се променя под влиянието на значителна изменчивост на климата, характерна за Югоизточна Европа. Целта на изследването е да се оцени подхранването на подземните води в Дунавската равнина (Северна България) въз основа на климатични данни.

Използваният метод е основан върху уравнението на воден баланс за равнинни територии (Miegel et al., 2013). Предполага се, че действителната евапотранспирация през студения период на годината (октомври - март) е равна на потенциалната. Методът изисква следните климатични данни: средна месечна температура на въздуха, валежи и слънчева радиация. Потенциалната евапотранспирация е изчислена по радиационното уравнение на Тигс. Съотношението между действителната евапотранспирация и потенциалната за условията на Дунавската равнина се оценява по линейно регресионно уравнение в зависимост от индекса на аридност. Това уравнение е получено с използване на климатични и почвени характеристики, характерни за района на изследването.

Оценката на средното многогодишно подхранване на подземните води е извършена за 27 станции в пределите на Дунавската равнина. Получените резултати са представени, както в табличен вид, така и на карти с изолинии. Картите дават представа за регионалните закономерности и не отчитат специфичните условия в Североизточна България, където окарстяващите се скали са припокрити с по-тънки почви. Изброени са предимствата и ограниченията на метода. Резултатите, получени за периода 2000-2011г., показват увеличени стойности на температурата на въздуха и потенциалната евапотранспирация, както и съответното намаляване на подхранването на подземните води, по сравнение с тези за 20-ти век.

Използваният методът е приложим при равнинен терен, с незначителен повърхностен и вътрепочвен отток. Той не е подходящ за условия на плитки подземни води. Общо взето, методът показва добри резултати и може да се препоръча за по-широка употреба.

Ключови думи: воден баланс, подхранване на подземните води, Дунавска равнина, Северна България

Introduction

Long-term groundwater recharge is a valuable characteristic for the groundwater management. Besides its considerable spatial and temporal variability, it is subject to significant climate change proven for South-Eastern Europe. The aim of the study is to evaluate the groundwater recharge for the Danubian Plain (Northern Bulgaria) based on climatic data for the 20th century.

In addition, an attempt is made to assess possible changes of the groundwater recharge in respect to climate variations, based on data for the period 2000-2011.

Short description of the study area

The Danubian Plain is located in Northern Bulgaria along the Danube River. The climate is temperate with cold winters and hot summers. Seasonality is well expressed. The coldest month is January with negative values of the mean air temperature, and the hottest is July (mean temperature over 20 °C).

The mean annual precipitation sums decreases from the southern mountain part (more than 1000 mm/a) to the Danube River (about 500-550 mm/a). Maximum precipitation generally occurs in late spring and early summer. The cold half-year is characterized by lower precipitation (about 40-45% from the annual sum).

Fertile Chernozems are the major soil type in the area (Koinov et al., 1998). The soils are mostly deep, medium-tolow permeable. They are developed on the loess sediments that cover the Danubian Plain.

Agricultural land use predominates in the area. The natural vegetation is presented by temperate deciduous forests (mostly broadleaf trees, shrubs, and herbs).

The first regional estimate of the natural groundwater resources of the study area was obtained by V. Spassov (1966, 1969) using the hydrograph separation method. The permeability of the outcropping formations was taken into account.

Methods and data base

Water balance equations

The average groundwater recharge R for flat terrains with negligible surface runoff and interflow is defined by the water balance equation (Wessolek et al., 2011; Miegel et al., 2013):

$$R = P - E_a \,, \tag{1}$$

where P denotes the yearly mean precipitation and Ea is the actual evapotranspiration, which depends on the site, soil, and crop properties. If the difference between the potential and actual evapotranspiration during the cold half-year is negligible, the last value in Eq. (1) may be substituted by the sum (Wessolek et al., 2011):

$$E_a \approx E_{as} + E_{pw} = E_{as} + E_p - E_{ps}, \qquad (2)$$

where E_{as} is the actual evapotranspiration during the "summer months" (warm period of the year: April-September) and E_{pw} is potential evapotranspiration during the "winter months" (cold period: October-March). From here, the average groundwater recharge according to Miegel et al. (2013) may be defined as follows:

$$R = P - E_{p} + E_{ps} \left(1 - E_{a} / E_{p} \right).$$
(3)

The Eq. (3) is an approximate equality. More precisely, the ratio between the actual and potential evapotranspiration

should refer to the summer half-year instead of the annual values:

$$R = P - E_{p} + E_{ps} \left(1 - E_{as} / E_{ps} \right).$$
(4)

This last equation is used in this study to evaluate the longterm groundwater recharge in the Danubian Plain.

Assessment of the potential evapotranspiration

Generally, the potential evapotranspiration is represented by the FAO-56 grass reference evapotranspiration ET_{\circ} (the Penman-Monteith method, Allen et al., 1989). As this standard method is rather complex and has a high data demand, several alternative methods are often used. Under the humid weather conditions, the Turc (1961) radiation equation appears to be an appropriate alternate method for estimating ET_{\circ} (Fisher and Pringle, 2013 as an example).

The Turc radiation method (Turc, 1961) estimates the potential evapotranspiration (mean monthly value, mm/day) based on the average air temperature (T, °C) and solar radiation (R_s , MJ m⁻²day⁻¹) using the equation (for relative humidity > 50%):

$$E_p = 0.01333 \cdot \left[\left(23.9001 \cdot \mathbf{R}_s \right) + 50 \right] \cdot \left(\frac{T}{T + 15} \right)$$
(5)

Assessment of the actual evapotranspiration

The well-known Budyko curve presents the relationship between the E_a/P ratio and the aridity index (Faybishenko, 2007):

$$E_a / P = \{\phi \tanh(1/\phi) \left[1 - \exp(-\phi)\right]\}^{0.5}, \quad (6)$$

where the aridity index ϕ is defined as a relation between the potential evapotranspiration and the precipitation sum:

$$\phi = E_p / P \,. \tag{7}$$

This semi-empirical equation was obtained for numerous catchments with the known values of the mean annual precipitation and total river runoff.

The model of Porporato et al. (2004) is more complicated compared to the Budyko curve (Eq. 6). The partitioning of the rainfall input into evapotranspiration and deep infiltration plus runoff was done based on the theoretical analysis taking into account the water-holding capacity of the soil. The rainfall input was modelled as a Poisson process with a mean rainfall depth per event α . Thus, the model of Porporato et al. has an additional parameter γ :

$$\gamma = PAWC / \alpha \,, \tag{8}$$

where PAWC denotes the plant available water capacity of a soil profile. This model is expressed by the equation (Porporato et al., 2004):

$$\frac{E_a}{P} = 1 - \left(\phi \cdot \gamma^{\gamma/\phi - 1} \cdot e^{-\gamma}\right) / \left(\Gamma(\gamma/\phi) - \Gamma(\gamma/\phi, \gamma)\right)$$
(9)

where $\Gamma(.)$ and $\Gamma(.,.)$ are the Gamma function and Incomplete Gamma function respectively. It was proven that the Budyko equation (6) is a special case of Eq. (8) for γ = 5.5, i.e. for thin soils (Porporato et al., 2004).

The values of the relation E_a/P in respect to the aridity index by equations (6) and (9) are presented in the first columns of Table 1.

Table 1.

Relation of some climatic values in respect to the aridity index ϕ based on Eqs (6) and (9)

ϕ	Budyko	Porporato (y = 15)				
	Ea/P	Ea/P	Eas/Eps			
1.0	0.694	0.808	0.808	0.782		
1.1	0.727	0.852	0.774	0.749		
1.2	0.756	0.884	0.737	0.712		
1.3	0.782	0.911	0.701	0.678		
1.4	0.804	0.931	0.665	0.643		

The relation E_a/E_p is as follows:

$$\frac{E_a}{E_p} = \frac{E_a}{P} : \phi , \qquad (10)$$

and the respective values are presented in Table 1.

Data base

The data base for the study includes climatic data for meteorologic stations in Northern Bulgaria (Table 2, Fig. 1), namely: the mean annual values of the precipitation sum (period 1931-1985), as well as mean monthly values of the air temperature for the period 1931-1970 (Koleva and Peneva, 1990; Kuychukova, 1983).

An additional period covers 12 years from the new century (2000-2011) in order to compare the obtained results for some stations. The data are from the National Institute of Meteorology and Hydrology.

The data for the solar radiation R_s are from the monthly climatic data for the respective climatic zone identified in Bulgaria and presented in appendix No2 of the Ordinance on heat and energy savings in buildings in Bulgaria (Anonymous, 2005).

The plant available water capacity of a soil profile (PAWC) is set at 150 mm – a typical value for agricultural regions in Eastern Europe with deep roots (Dunne and Willmott, 1996). The mean rainfall depth per event α is about 10 mm. It is defined as a relation between the mean annual precipitation sum and the average number of the precipitation events (>2 mm, to eliminate the interception by vegetation) per year. Similar value was reported for the Ogosta River basin in northwestern part of the study area (Orehova et al., 2012). According to Eq. (8), the value of the additional parameter in the model of Porporato et al. (2004) is $\gamma = 15$.

Tahle 2	
---------	--

Input and output data for the study area (20th century)

Station	P,	Е _р ,	E _{ps} ,	<u>σ</u>	R,	R/P,
	mm	mm	mm	Ŷ	mm	%
Vidin	581	710.4	615.4	1.22	52.5	9.0
Gramada	594	686.0	598.4	1.15	70.7	11.9
Lom	548	719.1	619.1	1.31	31.1	5.7
Oryahovo	517	734.5	629.0	1.42	11.7	2.3
B. Slatina	583	656.4	570.1	1.13	75.9	13.0
Knezha	579	656.4	570.1	1.13	73.4	12.7
Somovit	507	725.6	624.9	1.43	11.4	2.2
Pleven	578	682.2	580.9	1.18	58.9	10.2
Svishtov	543	730.0	625.3	1.34	24.3	4.5
Byala	595	683.4	580.6	1.15	68.2	11.5
Pavlikeni	611	679.7	576.8	1.11	79.6	13.0
V. Tarnovo*	680	659.8	553.5	0.97	135	19.9
Ruse	585	732.4	627.1	1.25	44.3	7.6
Silistra	501	717.1	612.5	1.43	9.4	1.9
Razgrad	564	658.3	561.1	1.17	60.7	10.8
Dve mogili	588	712.9	614.4	1.21	54.5	9.3
Obr. Chiflik	600	700.8	609.6	1.17	67.7	11.3
Samuil	650	664.0	579.9	1.02	117	18.0
Isperih	587	695.4	599.5	1.18	60.8	10.4
Popovo	593	709.6	604.1	1.20	56.4	9.5
Slavyanovo	593	653.9	558.1	1.10	80.7	13.6
Tzarev brod	600	701.6	598.7	1.17	64.2	10.7
Shumen	597	706.6	602.2	1.18	60.2	10.1
Targovishte	646	709.6	604.1	1.10	88.8	13.7
Krushari	506	697.7	596.7	1.38	17.1	3.4
Kubrat	611	681.0	591.7	1.11	82.6	13.5
Izgrev	604	664.3	577.5	1.10	85.7	14.2

* period 1976-1995 for T, °C

Results and discussion

At first, the Turc radiation method (Eq. 5) is used to evaluate mean monthly data of the potential evapotranspiration for all stations. Then the mean annual potential evapotranspiration is calculated along with its portion for the "winter months" (cold period of the year: October-March). The aridity index is estimated using Eq. (7) – see Table 2 and Fig. 2.

During the warm half-year, the actual evapotranspiration is restricted by insufficient water availability (especially, in July and August). Therefore, the relation $E_{as}/E_{ps} < E_a/E_p$. Based on previous estimates made by the second author (for the climate and soil characteristics typical for the Danubian Plain) the relation is obtained for the study area:

$$\frac{E_{as}}{E_{ps}}:\frac{E_{a}}{E_{p}}\approx 0.967.$$
(11)

For practical applications, a simple linear regression equation may be used (obtained for the data from Table 1):

$$E_{as} / E_{ps} = -0.348 \ \phi + 1.13 \ . \tag{12}$$

Both equations (11 and 12) are developed based on the climatic and soil characteristics typical for the study area and
would produce similar results. In this paper, the last equation is applied.

To evaluate the long-term groundwater recharge value, Eq. (4) is used. The obtained results are presented in the last columns of Table 2 and in Fig. 3 and 4.



Fig. 1. Location of the meteostations used for the study



Fig. 2. Isolines of the aridity index $\,\phi\,$ for the study area



Fig. 3. Isolines of the long-term annual groundwater recharge for the study area (R, mm)



Fig. 4. Isolines of the long-term relation of the groundwater recharge to precipitation sum (R/P, %).

The evident advantages of the applied method are as follows. It has clear physical background (namely, it presents a multi-annual water balance), with input data from the meteostations located within the study area. Furthermore, it takes into account (from the regression equation) the high PAWC typical for the Danubian Plain.

The presented estimates and figures stress on the regional distribution of the respective values. The special case of the Northeastern part of the country, where karst rocks are overlain by thin soils is not considered. Additional information is needed for the root depth in this area to estimate reduced value of the PAWC.

Compared to the previous estimates of the groundwater water resources by Orehova & Gerginov (2014), using the only input parameter, the aridity index, to evaluate the baseflow Q_b , which focuses on the output from the groundwater system), the present method would give more reliable results. Indeed, the data obtained by both methods are similar only for lower values of the aridity index (see Table 3, where the stations are arranged in order of increasing value of the aridity index).

The discrepancy between the estimates in the lower part of the Table 3 is explained mostly by the influence of the thick soil with high plant available water capacity (typical for the study area) on the formation of the groundwater resources.

The method allows assessing the possible changes of the groundwater recharge in respect to climate variations as well as for different climate change scenarios.

Mean groundwater recharge values for the period 2000-2011 for the two stations show the decrease of the respective values (see Table 4). This period is characterized with enhances values of the air temperature and potential evapotranspiration. The increased values of the mean annual precipitation originate from very wet year 2005 with precipitation sums about 50% above the norm.

Table 3.

Comparison	of the re-	charae	values with	the	previous	estimates
•••••••••••	0. 0. 0				p	

Station	ϕ	R, mm	Q _b , mm	Q _b /R
Pavlikeni	1.11	79.6	91.1	1.14
Knezha	1.13	73.4	83.0	1.13
Gramada	1.15	70.7	81.0	1.15
Obr. Chiflik	1.17	67.7	79.5	1.17
Isperih	1.18	60.8	75.2	1.24
Shumen	1.18	60.2	76.6	1.27
Pleven	1.18	58.9	74.7	1.27
Vidin	1.22	52.5	70.6	1.34
Ruse	1.25	44.3	65.5	1.48
Lom	1.31	31.1	57.6	1.85
Svishtov	1.34	24.3	50.1	2.06
Krushari	1.38	17.1	43.6	2.55
Oryahovo	1.42	11.7	41.4	3.54
Somovit	1.43	11.4	39.4	3.46
Silistra	1.43	9.4	38.7	4.12

Table 4.

Comparison of some parameters for the 20th and the beginning of the 21st century

Parameter	Pleven		Krus	shari					
	20th 21st		20th	21st					
P, mm	578.0	598.9	506.0	520.1					
T _{av} , ⁰C	11.6	12.4	10.7	11.6					
E _p , mm	682.2	708.1	697.7	734.4					
aridity index	1.18	1.18	1.38	1.41					
R, mm	58.9	56.2	17.1	10.8					
R/P, %	10.2	9.4	3.4	2.1					

Conclusion

The long-term groundwater recharge in the Danubian Plain of Bulgaria is estimated based on the climatic data. The approximate equation (3) given by Miegel et al. (2013) is slightly modified to describe the water balance more precisely. This modified equation (4) is used for calculation of the groundwater recharge.

The ratio E_{as}/E_{ps} (the actual evapotranspiration to potential evapotranspiration for the summer half-year) is assessed using a simple linear regression equation (12) in respect to the aridity index. This equation is obtained on the basis of the climate and soil data typical for the study area and takes into account the enhanced value of the PAWC in the Danubian Plain.

The values of the average annual groundwater recharge are assessed for 27 stations from the Danubian Plain. The results are presented both in table and on maps with contour lines. Comparison of the estimates made for the 20th and beginning of the 21st century revealed increasing air temperature and reduction of the groundwater recharge for the first decade of the period 2000-2011.

The applied approach gives promising estimates of the groundwater recharge based on climatic data.

The method is not valid for mountainous regions where the surface runoff and interflow play important role in the water budget. Also, it is not applicable in areas with shallow groundwater tables. Out of these limitations, the described method may be widely used.

Acknowledgement

This study is prepared partly in the frames of the Project DFNI - E02/4 supported by the Bulgarian Fund.

References

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper№ 56. 1998.
- Anonymous. 2005. Ordinance № 7 of 15.12.2004 on heat and energy savings in buildings. Issued by the Minister of Regional Development and Public Works. State Gazette, № 5/14.01.2005 (in Bulgarian). www.gasflowbg.com/ docs_sait/N7TIES.doc - accessed November 2013.
- Dunne, K. A., C. J. Willmott. Global distribution of plant-extractable water capacity of soil. *International Journal of Climatology*, 16(8), 1996. - 841–859.

- Faybishenko, B. Climatic forecasting of net infiltration at Yucca Mountain using analogue meteorological data. Vadose Zone Journal, 6, 1, 2007. -77-92.
- Fisher, D. K., & H. C. Pringle III. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Sciences*, Vol. 4, No.8A, 2013. -51-60.
- Koinov, V., I. Kabakchiev, K. Boneva. *Atlas of soils in Bulgaria.* Sofia, Zemizdat, 1998. - 321 p. (in Bulgarian).
- Koleva, E., Peneva, R. 1990. Climatic reference book. Precipitation in Bulgaria. Bulgarian Academy of Sciences Publishing House, Sofia, 169 pp. (in Bulgarian).
- Kuychukova, M. (Ed.). 1983. Climatic reference book of Bulgaria. Vol. 3. Temperature of the air, temperature of the soil. "Science and Art" Publishing House, Sofia, 440 pp. (in Bulgarian).
- Miegel, K., K. Bohne & G.Wessolek. Prediction of long-term groundwater recharge by using hydropedo-transfer functions. *International Agrophysics*, 27, 1, 2013. -31-37.
- Orehova, T., I. Zektser, A. Benderev, O. Karimova. Evaluation of the potential groundwater recharge. Example of the Ogosta River Basin, NW Bulgaria. *Comptes rendus de L'Academie bulgare des Sciences, 165,* 10, 2012. -1387-1394.
- Orehova, T., P. Gerginov. Assessment of the groundwater recharge in the plain part of the Northern Bulgaria. *Bulgarian Geological Society, National Conference with international participation "GEOSCIENCES 2014"*, 2014. -105-106 (in Bulgarian).
- Porporato, A., E. Daly & I. Rodriguez-Iturbe. Soil water balance and ecosystem response to climate change. *The American Naturalist*, 164, 5, 2004. - 625-632.
- Spassov V. Works on the geology of Bulgaria. Series *Engineering geology and hydrogeology, 5,* 1966. -71-90 (in Bulgarian).
- Spassov V. Study on groundwater recharge in the zone of active water exchange. PhD Thesis, Geological Institute, Sofia, 1969 (in Bulgarian).
- Turc, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle. Ann. agron, 12, 1, 1961. -13-49.
- Wessolek, G., K. Bohne, W. Duijnisveld & S. Trinks. Development of hydro-pedotransfer functions to predict capillary rise and actual evapotranspiration for grassland sites. *Journal of Hydrology*, 400, 3, 2011. -429-437.

The article is reviewed by Assist. Prof. Dimitar Antonov, PhD.

ОЦЕНКА НА РОЛЯТА НА ВЕРТИКАЛНАТА ФИЛТРАЦИЯ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ В ОБСЕГА НА АЕЦ "КОЗЛОДУЙ"

Петър Гергинов

Геологически институт, БАН, 1113 София, p.gerginov@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Хидрогеоложките условия в района на АЕЦ "Козлодуй" имат съществено значение за Централата. С цел осигуряване безопасната й работа се извършва снижаване на нивата на плитките подземни води, посредством отводнителни канали. Режимът на подземните води в Козлодуйската низина е пряко свързани с колебанията на водните стоежи в р. Дунав. Хидрогеоложката среда е комплексна, поради съществуването на разнородни във филтрационно отношение слоеве по вертикала. Чрез математическо моделиране на хидродинамиката на системата е оценено значението на вертикалната филтрационно отношение слоеве по вертикала. Чрез математическо моделиране на хидродинамиката на системата е оценено значението на вертикалната филтрация на подземните води в областта между АЕЦ "Козлодуй" и р. Дунав. Направена е съпоставка с естествените условия в централната част на Козлодуйската низина преди изграждане на дренажната система .Разгледана е връзката между колебанията на нивата на подземните води в низината и функциониращата дренажна система.

Ключови думи: подземни води, вертикална филтрация, Козлодуйска низина, АЕЦ "Козлодуй"

EVALUATION OF VERTICAL GROUNDWATER FLOW IN THE AREA OF NPP "KOZLODUY"

Peter Gerginov

Geological Institute, BAS, 1113 Sofia, p.gerginov@mail.bg

ABSTRACT. Hydrogeological setting in the area of NPP "Kozloduy" is essential to the Plant. In order to ensure its safe work is done lowering levels of shallow groundwater established by drainage channels. The groundwater regime in the Kozloduy lowland is directly linked to the fluctuations of the water stage in the Danube River. Hydrogeological environment is rather complex and heterogeneous due to its layered structure. The role of the vertical groundwater flow for the area between the NPP "Kozloduy" and the Danube River is estimated by means of mathematical modeling. For the central part of the Kozloduy lowland, a comparison is made with the natural conditions before the construction of the drainage system. The impact of the drainage system on the fluctuations of the groundwater levels in the lowlands is considered.

Key words: groundwater, modeling, Kozloduy lowland, NPP "Kozloduy"

Въведение

В зоната на АЕЦ "Козлодуй" са извършени множество хидрогеоложки проучвания във връзка с: търсенето на нефт и газ; осушаването на Козлодуйската низина; проектирането на Централата, избора и характеристиката на площадка за погребване на радиоактивните отпадъци и др. (Гергинов, 2014).

Целта на настоящото изследване е да обърне внимание на ролята на вертикалната филтрация на подземните води, северно от АЕЦ "Козлодуй".

Хидрогеоложката среда е комплексна, поради съществуването на разнородни във филтрационно отношение слоеве по вертикала.

Важен фактор, оказващ влияние върху динамиката на подземните води, е дренажната система, изградена между Централата и р. Дунав.

Естественият поток на подземните води, с посока юг – север и периодично високите води на р. Дунав, създаващи подпор в близост до реката, формират значителна вертикална компонента на филтрационния поток, която е свързана с отводняването на низината.

Определянето на посоката на движение на подземните води е извършено чрез методите на численото моделиране. Използвана е геоложка, литоложка, хидроложка, климатична и хидрогеоложка информация от предишни проучвания на МЕГ "Енергопроект", НИППИЕС "Енергопроект", ИПП "Водпроект", "Енергопроект – Хидроенергетика" ООД и изследвания на ГИ – БАН и МГУ "Св. Иван Рилски".

Описание на изследвания район

Обектът на изследване еразположен в централната част на Козлодуйската низина, между АЕЦ "Козлодуй" и р. Дунав.

Равнинният релеф, с надморски височини между 25 и 40 m, на места с верига от ниски хълмове, т.н. "еолични гредове", спомага за формирането на добре издържан

водоносен комплекс, който е в непрекъснато взаимодействие с реката.

Геоморфоложките условия са добре изяснени, като в района на изследването попадат тераси T₀, T₁ и T₂ на р. Дунав (Евлогиев, 2012ф). Те са пряко свързани с динамиката на плитките подземни води.

Геоложка характеристика

Геоложките разновидности, имащи отношение към изследването, се разкриват на дълбочина до 30 m и са с кватернерна и неогенска възраст.

Кватернерният комплекс е съставен от льос и льосовидни глини, под които залягат глини, пясъци и чакъли на по-старата алувиална тераса. Първата незаливна тераса на р. Дунав е изградена от чакъли и пясъци.

Неогенският комплекс е съставен от глини и прахови глини, с песъчливи прослойки на Брусарската свита, под които се разкриват пясъците на Арчарската свита.

Изготвените четири геолого-хидрогеоложки профила (Евлогиев, 2012ф) съдържат подробна информация за пространственото положение на отделните разновидности. Те са закономерно разположени и с ясно очертани граници между високите и ниските тераси на реката.

Климатични и хидроложки условия

Средногодишната сума на валежите в района на АЕЦ "Козлодуй" за период 1998-2011г. е 420 mm, която е една от най-ниските в страната.

Валежите в Козлодуйската низина са разпределени неравномерно през годината. Максимумът им е през май – юни, а вторичният максимум е през ноември.

Водните стоежи на р. Дунав и падналите валежи в областта оказват основно въздействие върху нивата на подземните води и водните количества, преминаващи през Козлодуйската низина.

По данни от Доклад на "Енергопроект-Хидроенергетика" ООД, осреднените водни нива на р. Дунав, при ВП БПС 1, 2, 3, за периода 1980-2003г. имат стойност 24,30 m, при 50% обезпеченост.

Хидрогеоложки условия

Дълбоките водоносни хоризонти в Козлодуйската низина са със забавен водообмен и са отделени с дебели водоупорни слоеве от по-плитките водоносни формации в разреза (Бендерев, 2012ф).

За хидрогеоложките особености на Козлодуйската низина основно значение имат алувиалните отложения на р. Дунав и лежащите под тях неогенски седименти.

Кватернерният водоносен хоризонт е най-водообилният в Козлодуйската низина. Той е формиран в чакълите на заливната тераса, както и в покриващите ги глинестопесъчливи материали (Спасов и др., 1980ф). Поради слабата пропускливост на горния слой, водоносният хоризонт има

полунапорен характер, в местата където е покрит.

В централната и източната част на низината, контактът между терасните чакъли и неогенските пясъци на Брусарската и Арчарската свита е пряк и в хидравлично отношение те би трябвало да се възприемат като общ водоносен хоризонт с различни филтрационни свойства по вертикала.

Кватернерният водоносен хоризонт получава подхранване от инфилтрирани повърхностни води, от постарите тераси на р. Дунав и от неогенските водоносни интервали. Дренирането на водоносния хоризонт се извършва от отводнителните системи и в р. Дунав, през периода на маловодие.

Счита се, че водното ниво на кватернерния и неогенския водоносни хоризонти е общо. В района на площадките на АЕЦ "Козлодуй" подземните води на първата незаливна тераса на р. Дунав се намират на 7-10 m от повърхността, а при заливната тераса са по-плитко разположени и се колебаят в зависимост от нивото на р. Дунав.

В района на АЕЦ "Козлодуй" филтрационният поток е с посока от юг-югозапад на север-североизток. Градиентът на потока варира между 0,003 и 0,005. В централните части на низината градиентите са по-малки, поради повисоките проводимости и действието на дренажната система.

Нивата на подземните води в централната част на Козлодуйската низина се поддържат изкуствено на абсолютна кота 24,50m, в резултат на отводняването.

Установено е, че в естествени условия преди 1960г. са съществували заблатявания в цялата територия. По информация от топографски карти в М 1:25000 и карта на инженерния корпус на американската армия в М 1:250000, площта на заблатените територии в центъра на Козлодуйската низина, преди изграждането на водопонизителната система до 1960 г, възлиза на 13 km² (фиг. 1).

Състояние на дренажната система

Понастоящем дренажната система в Козлодуйската низина има за цел осигуряване безопасната работа на Централата, като извършва снижаване на нивата на плитките подземни води и компенсира притока от високите водни стоежи на р. Дунав.

Отводняването се извършва от няколко успоредни дренажни лъча, свързани помежду си с по-тясни напречни канали. Дренажната система следва естествения релеф на низината и е успоредна на р. Дунав. Дължината на дренажите в северозападно – югоизточна посока е 10 km, а цялата система между АЕЦ "Козлодуй" и р. Дунав има ширина 3,2 km.

По експертна оценка дебитът на всички дренажи възлиза на 180–200 l/s.

Моделни изследвания

Съществуващите моделни изследвания в района на АЕЦ "Козлодуй" датират от 1992г. Те разглеждат движението на радионуклиди в плитките подземни води (Гълъбов и др., 1992). Впоследствие тези изследвания са разширени и допълнени, с участие на колектив на ГИ-БАН (Карастанев, 2007). Последните разработки са свързани с прогнозиране риска от замърсяване на геоложката основа при проектиране на НХРАО (Стоянов, 2012) и изготвянето на ДОВОС за изграждане на VII блок на АЕЦ "Козлодуй" през 2013 г.

Целта на настоящото изследване е да обърне внимание на ролята на вертикалната филтрация на подземните води, северно от АЕЦ "Козлодуй".

Използваните числени методи позволяват геоложкият разрез да бъде пресъздаден в детайли (фиг. 2).



Фиг. 1. Естествени заблатявания и изградени дренажни канали в Козлодуйската низина



Фиг. 2. Геоложка интерпретация по съществуващите сондажи

Теоретични постановки за слоести водоносни хоризонти

Хидрогеоложката среда е комплексна, поради съществуването на разнородни във филтрационно отношение слоеве по вертикала. Филтрацията в слоестите водоносни хоризонти се отличава със специфични особености.

Схематизацията на водоносния хоризонт определя найобщо съществуващите условия като многослоен пласт с два добре проницаеми слоя (Йотов, 1992). Съществува едностранно протичане от долния силно проницаем слой към горния силно проницаем слой през слабопроницаем разделящ слой (фиг. 3).

Процесът на протичане се осъществява при наличието на напорен градиент между двата силно проницаеми слоя. Разликата в напорите се дължи на действието на дренажната система, която променя посоката на потока и интензифицира вертикалната му компонента.

Пониженията в пласта се определят чрез използване на комплексния параметър за едностранно протичане:

$$B = \sqrt{\frac{T1.m2}{k^2}}$$

където:

T1 – проводимост на горния силно проницаем слой, m²/d; m2 – дебелина на разделящия, слабопроницаем слой, m;

к2 – коефициент на филтрация на разделящият слой, m/d.



Фиг. 3. Схематизация на водоносния комплекс: 1. Горен силнопроницаем слой; 2. Слабопроницаем разделящ слой; 3. Долен силнопроницаем слой

Концептуален модел

Настоящото изследване е проведено чрез използване на модулите MODFLOW и MODPATH на комплексния геоложки софтуеър GMS 6.0.

Моделната област обхваща централната част от Козлодуйската низина, северно от АЕЦ "Козлодуй". Тя е с размери 6х3,5 km.

От север областта е ограничена от граница с постоянно водно ниво – І род. Западната, източната и южната граници са зададени като граници от ІІ род (фиг. 4). В разрез моделът е изграден от 10 слоя. Дебелината им се променя в зависимост от промяната в дебелината на реалните литоложки разновидности. Общата дебелина на модела в разрез е 20 m.



Фиг. 4. Концептуален модел

Хидравличните градиенти на потока варират от 0,03-0,035, в южната част на областта (високите тераси), до 0,0001 в северната част на областта, непосредствено до р. Дунав.

За целите на настоящото проучване са стартирани няколко стабилизирани решения. Симулирани са ситуации при различни нива на р. Дунав.

Счита се, че е уместно използването на средногодишната стойност от 24,30 m за нивата в р. Дунав като отправна точка за по-нататъшните разсъждения.

Зададеното инфилтрационно подхранване в моделната област възлиза на 0,00015 m/d.

Отводнителната система е зададена като гранично условие "дренаж", с абсолютна кота 24,50 m.

Хидродинамичен модел

За симулация на движението на подземните води във водоносния комплекс е използван тримерен модел.

Геометрията на моделните слоеве отразява реалната промяна на литологията в дълбочина. За целта е използвана наличната информацията от 89 сондажа. Котите на отделните разновидности са интерполирани, привързани към хоризонти и в последствие служат за построяването на солиди (фиг. 5), със свойствата на зададените материали. Използвани са 9 материала, съответстващи на отделните литоложки разновидности (табл. 1).

Те са прехвърлени в MODFLOW, където посредством пакета LPF (Layer Property Flow) са превърнати във филтрацинни стойности за отделните клетки на мрежата.

Сценариите, които са използвани в проведеното проучване, са следните:

 Симулация на естествените условия, без работа на дренажната система;

- Симулация при работа на дренажната система и средно ниво на р. Дунав;
- Симулация при работа на дренажната система и различни ниски нива на р. Дунав;
- Симулация при работа на дренажната система и високи нива на р. Дунав.



Фиг. 5. Геометрията на моделните слоеве

Таблица 1.

Използвани разновидности в модела – спецификация по Евлогиев (2012ф)

Ν	Разновидност	Коеф. на
		филтрация, m/d
1.	Льос	0,1
2	Льосовидна глина	0,05
3.	Песъчлива глина с чакъл	0,15
4.	Чакъл, алувиален	30
5.	Пясък, алувиален	14
6.	Прахова глина (Брусарска свита)	0,1
7.	Пясък, плиоцен (Брусарска свита)	3,5
8.	Глинест пясък, миоцен (Арчарска свита)	2,5
9.	Прахова глина, миоцен (Арчарска свита)	0,1

За проследяване пътя на движение на подземните води и взаимодействието им с дренажната система, са използвани "particle tracking" анализи, симулиращи поведението на частици, пуснати във водоносния хоризонт. Целта е определяне на посоката на движението им, като времето за придвижване не е обект на проучването.

Резултати

Въз основа на проведените симулации са получени вариантни решения, описващи особеностите на заложените сценарии.

Решението, получено при естествени условия, симулирани без работа на дренажната система, демонстрира повишаване на нивата на подземните води над котите на терена в централната част на моделната област (фиг. 6). Тази картина е идентична с естествено заблатените участъци преди отводняването на низината. Движещите се частици в пласта достигат безпрепятсвено до р. Дунав.



Фиг. 6. Движение на частици по моделно решение, без дренажна система

Симулацията при работа на дренажната система и средно ниво на р. Дунав демонстрира напълно улавяне на частиците в каналите (фиг. 7).

За да бъде оценена ролята на различните нива на подземните води във водоносния комплекс, са симулирани ситуации с понижаване на нивата на р. Дунав. Решенията показват различен процент на усвояване на частиците в дренажите – ако при абсолютна кота на реката 24,30 m дренажите работят почти в цялата територия, при понижаване на котата на реката до 20,00 m, усвоеното количество спада 10 пъти.

Интерес представлява и повишаването на нивата в р. Дунав. Макар и слабо реалистичен в дългосроен аспект, т. е. слабо вероятно е трайно повишаване на котите на реката с 2 m, това решение демонстрира улавянето на речния приток от дренажите.



Фиг. 7. Движение на частици по моделно решение, с дренажна система

Моделно решение в разрез, описващо движението на частици във водоносния комплекс, в непосредствена близост до АЕЦ, е представено на фигура 8. То се отнася към случая с използването на средни стойности за нивата в р. Дунав и функциониране на дренажната система.

Хидродинамичните модели показват различна интензивност в работата на дренажната система.

При ниски до средни нива на р. Дунав, дренажните канали в южната част на областта работят най-интензивно. При повишаване на нивата на реката, северните части на системата отводняват активно водния приток от високата вълна.



Фиг. 8. Моделно решение в разрез – движение на частици с посока юг - север

Съществуват междинни случаи, в които работят само части от отводнителната система. Може да се приеме, че неработещите дренажни лъчи "висят" над нивата на подземните води.

Заключение

Въз основа на събраната информация от предишни проучвания е разработен тримерен филтрационен модел, описващ движението на подземните води в централната част на Козлодуйската низина.

Разработени са сценарии на работа на цифровия модел, при различни стоежи на р. Дунав.

Направена е съпоставка с естествените условия преди изграждане на АЕЦ "Козлодуй".

Получените посоки на движение на потока, водните нива в хидрогеоложкия комплекс и хидравличните градиенти предопределят характерни особености в динамиката на подземните води.

Основно значение в изследвания район има въздействието на изградената дренажна система, която снижава напорите на подземните води и събира притоците от високите нива на р. Дунав.

Чрез "particle tracking" анализи е оценена ролята на вертикална филтрация в областта. При работата на отводнителната система възникват градиенти на потока във вертикална посока. Това предизвиква изкривяване на токовите линии и поемане на водата, предимно от дренажите.

Ако се допусне, че дренажите не работят, вертикален градиент не би съществувал, но високите напори в хидрогеоложката система предизвикват площни заблатявания, което съответства на естествената обстановка в миналото.

Литература

- Гергинов, П. Хидрогеоложки проучвания в района на АЕЦ "Козлодуй". БГД, Национална научна конференция с международно участие "Геонауки 2014". 2014. - 101-102.
- Йотов, И. Определяне на хидрогеоложките параметри на слоести водоносни пластове. Geologica Balcanica, С., Издателство на БАН, 1992. - 107 с.
- Стоянов, Н. 2012. Моделни изследвания на риска от замърсяване на геоложката основа и подземните води от проектираното национално хранилище за радиоактивни отпадъци край АЕЦ "Козлодуй". *Годишник на МГУ "Св. И. Рилски", Том. 55, Св. I, Геология и геофизика*, 2012.- 140-145.

Фондови материали

- Бендерев, А. Доклад за дълбочинните водоносни хоризонти в частта от Северозападна България, в която е разположен АЕЦ "Козлодуй". ДП "РАО". 2012.
- Гълъбов, М. Изясняване на дисперсионните характеристики на почвената и водната среда в района на АЕЦ "Козлодуй" с цел анализиране на възможните пътища на миграция на радионуклиди от АЕЦ в почвата и атмосферата. Доклад на "Акватер", 1992.
- Евлогиев, Й. Съставяне на геоложки профил с посока югсевер "Льосово плато, НХРАО, р. Дунав, льосово плато в Румъния" за доизясняване на геоложките и хидрогеоложките условия и за оценка на трансграничните въздействия. Доклад на ГИ-БАН, 2012.
- Карастанев, Д. Извършване на инженерно-геоложки, хидрогеоложки и геофизични проучвания. Доклад на ГИ-БАН, 2007.
- Спасов, В., Д. Моллов и др. Доклад по задача 39.4.1. "Хидрогеоложки изследвания за определяне балансовите елементи на подземните води и филтрационните свойства в Крайдунавските низини в обсега на ХТК Никопол – Турну Мъгуреле, ГИ-БАН. 1980.

Статията е рецензирана от д-р Татяна Орехова.

PLATE TESTS OF A SOIL-CEMENT CUSHION

Dimcho Evstatiev¹, Vanushka Petrova²

¹ Geological Institute of BAS, 1113 Sofia, dimcho_e@mail.bg

² Geological Institute of BAS, Geotechnical Research Station – Ruse, 1113 Sofia, vanushka@gmail.com

ABSTRACT. Foundation work in loess with a soil-cement cushion (SCC) is a Bulgarian method, applied in more than one hundred buildings and facilities, which has also been of interest in other countries. According to this method loess is transformed into a two-layer soil base with a stronger upper layer. The modulus of total deformation E₀ (plate modulus) of both layers is necessary for the design and it is determined by plate loading.

The plate tests of SCC conducted so far are distinguished in the following groups: trials in laboratory baths and experimental trenches, tests in experimental sites before commencement of construction and testing SCC of real objects. The E_0 modulus is verified by juxtaposition of calculated and really measured settlements. Recently E_0 is determined on the basis of data from re-loading plate test, thus obtaining in some cases better correspondence between measured and actual settlements.

The report presents analysis and a brief summary of the results of the tests carried out so far and gives data for the recently conducted re-loading plate tests of SCC.

Key words: foundation work, loess, soil-cement cushion, settlement, plate test, plate modulus

ЩАМПОВИ ИЗПИТВАНИЯ НА ЦИМЕНТОПОЧВЕНА ВЪЗГЛАВНИЦА

Димчо Евстатиев¹, Ванушка Петрова²

¹ Геологически институт - БАН, 1113 София, dimcho_e@mail.bg

² Геологически институт - БАН, Изследователска база по геотехника - Русе, 1113 София, vanushka@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Фундирането в льос с циментопочвена възглавница (ЦПВ) е български метод, приложен на повече от сто сгради и съоръжения, към който се проявява интерес и в други страни. По този метод льосовата основа се превръща в двуслойна среда, с горен по-здрав слой и за нейното проектиране е необходим модулът на обща деформация Е₀ на двата слоя, който се определя със щампово натоварване.

Извършените досега щампови изпитвания на ЦПВ се разделят на следните групи: изпитвания в лабораторни вани и експериментални корита, изпитвания на опитни участъци преди започване на строителството и изпитвания на реални обекти. Модулът Е₀ е проверяван (верифициран) посредством съпоставка на изчислените слягания с действително измерените. Напоследък Е₀ при естествени почви се определя по данни от повторно щампово натоварване, при което в някои случаи се получава по-добро съответствие между измерените и действителните слягания.

В доклада след анализ и обобщение на резултатите от досегашните изпитвания се дават данни от извършени напоследък опити с повторно щампово натоварване на ЦПВ.

Ключови думи: фундиране, льос, циментопочвена възгавница, слягане, модул на обща деформация, щампово изпитване

Introduction. State-of-the-art of the problem

The soil-cement cushion (SCC) is a Bulgarian method for foundation in collapsible loess mainly of type I (loess with loaded collapsibility), i.e. practically collapsible after moistening only by additional loading (Author license No 16 276/1971). More than one hundred industrial and residential buildings, including the six power units of the Kozloduy NPP, were built in loess using this method. The application of SCC has been reduced during the last three decades but the cushion is still used even in the foundation of important facilities. In 2014-2015 it was implemented in the construction of the Workshop for processing and deactivation of the materials obtained during the decommissioning of the first four power units of the Kozloduy NPP. The National disposal facility for conditioned short-lived radioactive wastes will be also built on such cushion in loess terrain in the proximity of the Kozloduy NPP.

The design of SCC is accomplished on the base of Guidelines for Foundation of Buildings and Facilities in Collapsible Loess Soils Using a Soil-cement Cushion (1976), in which a fictitious foundation method is used (Fig. 1). Recently software programs are applied for this purpose. The total deformation modulus (plate modulus) E_0 , determined by plate loading with a metal stamp, is used as a key parameter in this design. In compliance with BDS 8004-84 E_0 is calculated from the stress-strain dependence after single-time loading.

The equivalent-layer method is used in the calculation of settlement, when the z coordinate is replaced by z_{ekv} , determined by the formula:

$$z_{ekv} = h . \sqrt[2,5]{\frac{E_{0,1}}{E_{0,2}}}$$

where:

h is cushion thickness, m; $E_{0,1}$ – plate modulus of the cushion, MPa; $E_{0,2}$ – plate modulus of the of loess, MPa.



Fig. 1. Principal scheme of the fictitious foundation method

The determination of the plate modulus E_0 of SCC is more difficult compared to that of natural soils for the following reasons:

- SCC makes the loess base two-layered and the settlement of the foundation with greater area is formed not only by the settlement of SCC but also of the natural loess layer beneath the cushion,
- SCC is usually built with increasing cement content in direction from the lower to the upper layers and hence E_{0} grows in the same manner,
- At the same time the cushion is built without interruption and the determination of E₀ after thirty days in real conditions is possible only for the uppermost layers,
- The strength and related deformation parameters of soilcement increase significantly with time, which cannot be practically taken into account.

The main task of the present work is to analyze and summarize the results of the plate tests of SCC conducted so far, to discuss the possibility of using the modulus of the reloading plate test and to comment some of the above mentioned difficulties in determining E_0 of SCC.

Analysis of previous tests

The plate tests of SCC in Bulgaria were conducted in laboratory baths and in experimental trenches (earth channels) in trial sections before commencement of construction as well as for real objects. The E_0 modulus was verified by juxtaposition of the calculated and the geodetically measured real settlements.

The laboratory tests were realized in a bath with dimensions 0,330x0,335x0,420 m and the loading was applied by a hydraulic press using circular metal plates with diameters d 0,05 m and 0,07 m. A two-layer base was modeled – a lower loess layer (thickness 0,2-0,3 m, *w*=10-15 %, $\rho_{d=}1,37$ g/cm³) and an upper loess-cement layer (thickness h=0,05 m, $\rho_{d=}1,47$ g/cm³, Portland cement quantity q from 5 to 15 %). The deformation modulus and failure mode of the upper layer were determined for different q values (Evstatiev, 1976, Slavov, 1980).

The tests in an experimental trench (earth channel), excavated in natural loess, were realized using seven metal plates with diameters d from 5,64 to 30,07 cm, loaded by a jack (Evstatiev et al., 1979, 1980, Karachorov, 1989). The thickness of the soil-cement (cushion) layer was 10 cm in all tests. Two test series were realized: series A with q=13 % of cement and series B with q=6,3 %. In series B the deformation modulus of the loess base was E0=25,0 MPa, and of the soilcement - E₀=200,0 MPa. The unconfined compressive strength of soil-cement was Rc=1.0 MPa. When h/d changed from 1,11 to 0,34 E₀ varied from 122,0 to 49,0 MPa. Two sections are observed in the "loading-settlement" curve $s=f(\sigma)$ (Fig. 2). The first one corresponds to provisionally elastic behavior – to the boundary values σ_E . The E_0 modulus is determined for this section. The second section is from σ_E to the failure limit σ_{lim} and reflects the elastoplastic behavior of the two-layer base.

The great difference in the stresses provoking one and the same settlement is seen. Even for the biggest plate with an area of 710 cm² and loading of 2.10⁵ Pa the settlement for the two-layer base in series B is more than five times lower than that of natural loess.



Fig. 2. Stress-deformation relationship for a two-layer base (series B): 1 – plate 64 cm²; 2 – plate 121 cm²; 3 – plate 169 cm²; 4 – plate 256 cm²; 5 – plate 400 cm²; 6 – plate 710 cm²; 7 – loess base, plate 710 cm²

Although inapplicable for the design, the tests in a laboratory bath and in an earth channel had contributed much to elucidate the strength-deformation behavior of the considered two-layer base. The results obtained for σ_{lim} were compared to the values, calculated using formulas proposed by other authors. It was confirmed that the cushion can substantially increase the load bearing capacity and E₀, provided h/d>0,2 and the ratio between the moduli of soil-cement and loess is E_{0,1}/E_{0,2}>5. The important fact that the E₀=f (R_c) relationship is linear has been also established. As will be shown later, this fact is also confirmed by data for SCC of real objects.

Trial sections were built for every bigger SCC application. The greatest number of tests were conducted prior to the Kozloduy NPP construction, where was the major SCC application with a total volume of the cushion about 500 000 m³.

The thickness of loess at the NPP site of the first four power units is 11,0-12,0 m and of units V and VI – 12-14 m.

The groundwater level for units I – IV, where the plate tests were performed, is at 6.5 - 7.0 m from the surface, the plate modulus below the foundation elevation is E_0 =17,0-26,5 MPa, loess is with loaded collapsibility, the collapsibility deformation being up to 1,5-2,0 m under the foundations.

The cushion thickness for the first four units is from 1,5 to 2 m (3,5 m under the reactors). The foundation is mainly in single steps with loading of 0,2-0,4 MPa. The loading under the reactors is up to 0,50-0,60 MPa.

The loess at power units V and VI was removed to the terrace gravels, the four- meter compacted ballast was built on them and two-meter thick SCC was constructed on the ballast layer. The foundation is with a common reinforced concrete plate with dimensions 66,0x66,0 m and loading of 0,45 MPa.

An experimental section was built by Bulgarian Academy of Sciences- BAS and Energoproekt before the commencement of construction of the first power unit, which included the realization of 1-m thick SCC. The modulus of loess underneath was E₀=26,5 MPa. The technological operations and plate tests were conducted in the section. The plate tests proved that loading with a plate with d=0,80 m of the lowermost two layers of SCC with a total thickness h=0,30 m and prepared with q=2,0 % yielded E_0 =65,0 MPa, the modulus of the next two layers with a thickness h=0,30 m and q=4,0 % was E_0 =85,0 MPa, and the uppermost three layers with h=0,40 m and q=6,0 % showed E₀=110,0 MPa. All layers were compacted to $p_{d=1.74}$ g/cm³. Cubes samples with sides of 10 cm were cut from the layers and subjected to unconfined compressive strength tests. The value for the lowermost lavers was Rc=0.5 MPa, for the middle ones - Rc=0.8 MPa, and for the top ones - R_c=1,3 MPa. The tests were carried out after 30-day aging - the period after which the plate tests were also conducted (Minkov et al., 1972, 1973, Evstatiev, 1976). In this case, as at other sites, the E₀/R_c relationship was linear (Fig. 3).



Fig. 3. The E₀=f (R_c) relationship: \blacksquare – for SCC at the experimental site of the Kozloduy NPP, \times – for SCC at the metal storehouse in the town of Sindel, \circ – for SCC at the Workshop for processing and deactivation in NPP

Plate tests were conducted under real conditions at many sites but the most representative ones were those at the metal storehouse of the State Reserve in the town of Sindel (Minkov et al., 1979, 1980, Minkov et al., 1981). The storehouse represented a huge hall with an area of about 8000 m² and a height of 15 m. The metal elements were stored in the form of pallets with sizes 4x6 m, arranged in strips at a distance of 1,10 m from each other. The load of pallets was from 120 to

500 t. The concrete floor of the storehouse was laid on a 0,5-m thick layer of compacted ballast. The ground base represented clayey loess with loaded collapsibility of type I and a thickness of 4-5 m, with marls lying underneath. The modulus of loess was E₀=20,0 MPa. The concrete covering under the pallets was bended and cracked due to improper exploration and design of the ground base, the settlement reaching up to 40 cm. Stabilization with SCC was selected after discussion of the applicable strengthening methods in the particular case. To this end the storehouse was emptied and a 2.0-m deep excavation was made, where SCC with a thickness between 1,5 and 2,0 m was built. All layers of the cushion were prepared with 5 % of cement. The availability of lifting equipment, heavy sheet metal stacks that were used for loading and the large area of the storehouse allowed the realization of tests with plates of different diameters and with significant loading by a team of BAS and Assoc. Prof. Jelyo Jelev from the Higher Institute of civil engineering and architecture and Fig. 6. Using gauges and soil dynamometers, deformations aside of the plates and the stresses in depth were also measured in addition to the settlements.

The tests were conducted with plates of different diameters. Here, the results with the biggest plate with area F=4,0 m² (Fig. 4) and a real pallet with an area F=24,0 m² are presented (Fig. 5 and Fig. 6). The plate modulus of the loess base is $E_0=20,0$ MPa and of SCC – $E_0=95,0$ MPa.



Fig. 4. Results of plate loading of the soil-cement cushion of the metal storehouse of the State Reserve in the town of Sindel (plate area – 4 m²)

Two tests were carried out with the plate (area of 4 m^2) – for SCC with h=1,5 m and h=2,0 m, yielding for the two-layer base the moduli E₀=48,0 MPa and E₀=55,0 MPa respectively.



Fig. 5. Loading with 24 m² metal pallet

With loading to 0,21 MPa, which is in fact the load from a real pallet (Fig. 5), for cushion thickness h=1,5 m, the total settlement measured by gauges placed along the pallet contour is 1,0 cm or 40 times less than the settlement of the loess base that caused the destruction of the concrete pavement.





After proving by plate and real pallet tests that the ground base was strengthened with a high reserve of safety in terms of bearing capacity and settlement size, the storehouse was subjected to normal operation, continuing for already several decades.

An essential conclusion from methodological viewpoint drawn from all tests considered here, is that the scale effect is strongly reduced and almost disappears for plate diameter d>0,30 m.

Geodetic measurements. The results of the geodetic measurements of buildings and facilities give the possibility to juxtapose the predicted and measured settlements S and S₁ and hence to make conclusions concerning the correct determination of E₀ of the loess base and SCC. For example, the predicted settlements for the TV tower in Ruse according to different methods for a two-layer base are from S=3,73 cm to S=6,85 cm, while the real ones after 30-year measurements are S₁=5,75 cm – Figure 7 (Evstatiev et al., 2008).



Fig. 7. Averaged graph "time – settlement" of the leveling marks of the TV tower in Ruse

The tower is founded with a common reinforced concrete slab with a diameter d=36,0 m and loading P=0,15 MPa, placed on a soil-cement cushion with a thickness of 4,5 m. The lowermost 1/3 of the SCC layers are with q=2,0 % and

 $E_0{}^{=}50$ MPa, the middle 1/3 – with q=4,0 % and $E_0{}^{=}80,0$ MPa, and the top layers – with q=6,0 % and $E_0{}^{=}120,0$ MPa (Fig. 8).

The loess under the cushion is compacted using a heavy tamper. The thickness of the compacted layer is 4,0 m thick, with $E_0=20,0$ MPa. There is natural loess (about 10 m and, $E_0=15,0$ MPa) under the compacted one, which is non-collapsible for the stresses reaching it.



Fig.8. Foundation scheme of the TV tower in Ruse city and plate modulus of the soil base

The TV tower in Ruse is a good example of correspondence between the predicted and realized settlements and for correctly determined E_0 of the layers of the ground base.

The age (time of curing) of SCC exerts great influence on E₀. It is known that R_c of soil-cement increases significantly after prolonged aging (Evstatiev, 1984, Angelova and Evstatiev, 1985, Karastanev, 1988). As stated above, the relationship between E₀ and R_c for SCC is linear, which provides the grounds to expect that similarly to R_c, E₀ will also grow significantly with time. So far we have no experimental data to confirm the expected rise of E₀ with time and until such data are obtained this increase may be considered only qualitatively in the safety assessment of foundations.

Re-loading plate tests

As mentioned before, in compliance with BDS 8004-84 the deformation (plate) modulus E_0 of soil is determined from the stress-settlement curve for one loading with a circular plate (stamp). In the practice of some countries, however, this modulus for natural soils is determined by re-loading (loading-unloading) test. In this way the real conditions are approximated, when during the facility construction certain settlement of the ground base occurs or eventual soil swelling is overcome. The E_0 modulus as determined from the reloading curve is 2-3 times larger compared to the modulus from the first loading.

The considerations to accept the re-loading test data as reliable for natural soils can hardly be applied for a ground base with strengthened upper part by SCC. However, if in the calculations of settlement the re-loading test modulus is accepted for the natural soil and the modulus defined in the usual way – for SCC, serious discrepancies might appear. This was the case with the design of a facility in the Kozloduy NPP, when the modulus determined according to the standard was used for SCC – E_0 =110 MPa, while for the consolidated Pliocene clays lying under the cushion the tripled modulus

according to this standard was accepted – E_0 =135 MPa. This leads to nonconformity since the unconfined compressive strength of SCC is R_c=1,0 MPa and the same strength for clays is at least 3 times lower.

To get more information on this issue re-loading tests were conducted during the SCC construction of the Workshop for volume reduction and deactivation of equipment of the decommissioned power units of the Kozloduy NPP.

The cushion of the workshop according to the design was 2.0 m thick and was built on loess with a thickness of about 5,0 m, with terrace gravels underneath. Due to loess overmoistening, a compacted ballast layer with a thickness of 0,30 m, reinforced with a geogrid, was placed on excavation bottom. On top of the ballast the SCC was built with a thickness of 1,70 m - the cement quantity for 1,10 m of the cushion being q=5 % and q=7 % for the rest 0,60 m. The average density of all layers was $p_d=1,71$ g/cm³, and the unconfined compressive strength - Rc=0,96 MPa. The foundation of the building was realized with single and strip foundations, transmitting the load P=0,12 MPa to the cushion. SCC was intended to replace part of the collapsible loess, to reduce the stresses in the remaining loess under it to values smaller than the initial load of collapse and to prevent the access of contaminants to groundwater.

The stamp tests with a circular plate (d=0,30 m) were performed for the first (Fig. 9) and last layer (Fig. 10) of the cushion.

Two tests were conducted for the first layer with q=5 %. The layer was from the experimental section, built 4 months before the plate loading. Similar results were obtained from both parallel tests. The deformation moduli for the first (E_0 =40,6 MPa) and second (E_0 =64,8 MPa) loading refer to a two-layer base (h/d=0,5) and obviously are strongly influenced by the modulus of natural loess (E_0 =12,0 MPa).



Fig. 9. Loading-settlement curves of the first layer of the soil-cement cushion. $E_0{=}40,6$ MPa – first loading and $E_0{=}64,8$ MPa – re-loading

Six re-loading tests were conducted for the last layer of the cushion (1 m thick, q=7 % of cement). The higher settlement of natural loess obviously could not exert any effect in these tests due to the large thickness of the cushion and it might be assumed that the obtained results refer to SCC.

The six tests of the first loading yield an average value $E_0=95,6$ MPa and of the re-loading – $E_0=221,5$ MPa. On the base of these data it can be concluded that re-loading produces approximately two times higher plate modulus compared to the first loading.



Fig. 10. Loading-settlement curves for the surface of the soil-cement cushion. E_0 =88,3 MPa – first loading, E_0 =152,8 MPa – re-loading

The difference between E_0 from the first loading and reloading, when the natural ground base cannot exert any effect is probably due to the discontinuities between the separate layers since poorly compacted mixture with lower cement content may be found along their boundaries. Another reason may be layer exfoliation and surface roughness due to overcompaction. After re-loading these inhomogeneities are removed to a large extent, so that higher modulus is obtained. The load of foundations during the construction of the building will play a similar role and therefore the results of a two-cycle plate test are more realistic in this case.

When the mixture is prepared under stationary conditions the distribution of cement is more uniform compared to in-situ homogenization by a rotor frezno, as is the present case, and it may be expected that the difference between the moduli from both types of loading will be smaller if the layer thickness corresponds to the roller possibilities.

The conclusion can be drawn on the base of the above considerations that data of the re-loading plate test can be used to control the quality of mixing and compacting of the soilcement layers. If the layers are prepared properly the difference between the first loading and re-loading would be smaller.

Conclusions

The data from the plate tests of the two-layer ground base, consisting of loess and loess-cement cushion, make it possible to draw the following conclusions:

 Depending on the ratio between the cushion thickness and plate diameter h/d the deformation modulus of the ground base E₀ can be increased from 2 to 6 times, reducing several times the settlement and avoiding the hazard of collapse of the loess base of type I.

- The soil-cement cushion can increase the bearing capacity of the two-layer base and its deformation (plate) modulus in the case when h/d>0,2 and $E_{0,1}/E_{0,2}>5$.
- When the amount of cement q is from 2 to 6 % SCC is characterized by $E_0\mbox{=}90\mbox{-}110\mbox{ MPa}$ and unconfined compressive strength Rc=0,9-1,2 MPa.
- It has been established for both small-scale models and real objects that the $E_0=f(R_c)$ relationship is linear.
- The re-loading plate tests of SCC yielded E₀ of about 200 MPa. For the present it is recommended that the reloading plate modulus should be used when consolidated soils are situated under the cushion.

References

- Angelova, R., D. Evstatiev. On Strength Formation in Soilcement. – *Engineering Geology*, 1, 1985. - 64-74 (In Russian).
- BDS 8004-84. Construction soils. Determination of the total deformation modulus, Sofia, Standartizatsia Publ. House, 1984. 6 p (In Bulgarian).
- Evstatiev, D. Deformation Behaviour of a Loess Base with a Soil-cement Cushion. – In: Proceedings of the Second National Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Varna, 8-14. X. 1973, vol. 2, 1976. - 40-45 (In Bulgarian).
- Evstatiev, D. Strength Formation in Soil-cement. Publ. House of BAS, Sofia, 1984. 94 p (In Bulgarian).
- Evstatiev, D., J. Evlogiev, M. Nedelcheva. Foundation Work of a High TV Tower in Collapsible Loess. In: Sixth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering and Symposium in Honor of Professor James K. Mitchell, Arlington, VA (USA)-August 11-16, 2008.
- Evstatiev, D., P. Karachorov, P. Slavov. Experimental Study on the Bearing Capacity and Failure Mode of a Two-layer Base. *Water Problems*, 11, 1980. - 67-79 (In Russian).
- Evstatiev, D., P. Slavov, P. Karachorov. Experimental Study on the Deformations of a Two-layer Base. *Water Problems*, 9, 1979. - 71-82 (In Russian).

- Guidelines for Foundation of Buildings and Facilities in Collapsible Loess Soils Using a Soil-cement Cushion. *Bulletin of Construction and Architecture,* Ministry of Construction and Architecture, XX, 1-2, 1976. – 4-21 (In Bulgarian).
- Karachorov, P. Deformation Behaviour of a Loess Base Strengthened with Cement, Author's Summary of Ph.D. Thesis, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, 1989. - 21 p (In Bulgarian).
- Karastanev, D. Improving the Engineering Geological Properties of Loess for the Needs of Hydro-melioration Construction. Ph. D. Thesis, Geotechnical Laboratory, BAS, 1988. - 161 p (In Bulgarian).
- Minkov, M., D. Evstatiev, T. Anastasov. Engineering Geological Conditions of the Foundation of the Kozloduy NPP. – Annual of Energoproekt, vol. XIII, 1, 1972. - 213-236 (In Bulgarian).
- Minkov, M., D. Evstatiev, T. Anastasov. The Soil-cement Cushion of the Kozloduy NPP. – *Hydrotechnics and Melioration*, 1, 1973. - 15–17 (In Bulgarian).
- Minkov, M., D. Evstatiev, P. Karachorov, P. Slavov. Testing the Ground Base with Big Plates. - In: Sixth Danube-European Conference on Soil Mechanics and Foundation Construction, Section 1c, 1980. - 129-138 (In Russian).
- Minkov, M., D. Evstatiev, P. Karachorov, P. Slavov, G. Stefanoff, J. Jelev. Stresses and Deformations in Stabilized Loess. – In: *Proc.* of *X ICSMFE, Stockholm*, 2, 1981. - 193-197.
- Minkov, M., D. Evstatiev, P. Slavov, P. Karachorov, Strengthening the Ground Base of a Metal Storehouse. – Industrial Construction, 4, 1979. - 10-14 (In Bulgarian).
- Slavov, P., Methodology for Testing Strengthened Ground Base Using Small-scale Models. – In: Proceedings of the National Conference on Methods for Testing and Processing of Engineering Geological Information, Sofia, STU, 1980. - 96-97 (In Bulgarian).

The article is reviewed by Prof. J. Evlogiev, DSci

МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ЗАВИСИМОСТ МЕЖДУ ТЕМПЕРАТУРАТА НА ОКОЛНАТА СРЕДА И НА ПРИРОДНИЯ ГАЗ ИЗПОЛЗВАН В ДОМАКИНСТВАТА В Р. БЪЛГАРИЯ

Мартин Бояджиев, Лъчезар Георгиев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, martinb@mgu.bg, lucho_sdng1@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Разгледан е коректен подход при определяне на температурата на газа и описване на зависимост представяща връзката между потреблението на природен газ и дневната температура на базата на регресионен анализ и използване на изкуствени невронни мрежи (ANN).

MODEL FOR THE DETERMINATION RELATIONSHIP BETWEEN AMBIENT TEMPERATURE AND THE NATURAL GAS USED BY HOUSEHOLDS IN R. BULGARIA

Martin Boyadzhiev, Luchezar Georgiev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, martinb@mgu.bg, lucho_sdng1@mail.bg

ABSTRACT. Views is correct approach in determining the temperature of the gas and describe according representing the relationship between the consumption of natural gas and daily temperature based on regression analysis and use of artificial neural networks (ANN).

Въведение

Достигнатата дължината на градската разпределителна мрежа в развитите газоснабдени региони е от порядъка на десетки километри и продължава да се увеличава. В тези мрежи разстоянията, които природният газ (Physical...,1998) изминава от мястото на отчитане на физичните му параметри, във входните за населените места точки - автоматичните газо-регулаторни станции (АГРС), до точките за измерване и отчитане на природния газ при потребителите, са значими. Измерването на тези параметри на входа не може да се отнесе към физическото състояние на газа в местата, в които се отчита потребеното количество газ от домакинствата. Освен това, използването на средства за търговско измерване (СТИ) на газа, с корекция по температура (които отчитат температурата и коригират обема), не е масово. В същото време, точната информация за температурата и абсолютното налягане на газа е от съшествено значение за коректността при отчитане и фактуриране на реално потребеното количество газ.

За да се изведе зависимост за достоверно определяне на температурата на газа в местата на измерване на неговия обем са проведени експерименти, като на базата на резултатите от тях е съставен модел за определяне на коригиращите коефициенти по температура. Този модел е от значение и за ефективното управление и надеждна експлоатация на мрежите, като същевременно подпомага прогнозирането на потреблението на природен газ. Настоящият доклад отразява резултатите от проведен експеримент на обект на територията на град София, реализиран със съдействието и техническата подкрепа на експерти от София газ АД. Целта е намиране на математическа функция и доказателства за коректен подход при определяне на температурата на газа и описване на зависимост, представяща връзката между потреблението на природен газ и дневната температура на базата на регресионен анализ и използване на Изкуствени Невронни Мрежи (ANN) (Defireli, Gil, 2004; Агаев, 2007).

Постановка на задачата

В началото на изследването, е известен успешно завършен експеримент, организиран от колеги от София газ АД. При него на един и същ потребител монтирани два последователно са разходомера. измерващи обема на газа. Разходомер (1) е тип GMT G 2.5 и не отчита температурата на газа, а вторият разходомер (2) е тип Galus 2100 TCE, който преизчислява обема на газа в съответствие с температурата му. В месечните отчети при разходомер 1 и 2 е установена разлика между регистрираните обеми газ, дължаща се на използването на корекцията по температура, извършвана автоматично от СТИ 2. От отношението на отчетеното количество газ, отнесен към конкретен период, може да се установи и стойността на корекционния коефициент по температура за изследван регион, при характерните за него условия.

Получените резултати от изследването са много добра основа за продължаване на експеримента, доколкото то не предоставя достатъчно данни, които обработвайки като информация, да позволят да се направи заключение относно това, как температурата на газа се повлиява от температурата на почвата, на въздуха и количествата газ, преминаващи през средството за търговско мерене за територията на газоснабдени населени места в страната. За постигане на целите на това изследване, експериментът е продължен и е преминал през следващия планиран етап.

Установяването на реалните параметри на газа, отчитани при продажбата на битов консуматор, е възможно след изграждане на опитна установка с включени два електронни коректора по температура и налягане, свързани към диафрагмен обемен разходомер. Технологичната схема е представена на фигура 1. На входа на коректор 1 са подадени температурата на газа и импулсите от брояча на разходомера. На изхода на същия коректор се извеждат синхронно същите импулси, които влизат на входа на коректор 2. По този начин на коректор 2 се симулира същия разход, като импулсите са синхронизирани по време. На температурния вход на коректор 2 по същото време се подава сигнал от околната температура. И на двата коректора на входа за налягане се подава атмосферното налягане. За целта на експеримента, двата коректора са синхронизирани по време и отчитат в паметта си данните на всеки час.



Фиг 1. Схема на свързване на коректорите

За решаването на описания проблем са обобщени данните за:

• почасовото денонощно потребление на природен газ за отоплителния периода от 08 април до 23 април 2015 г. включително;

• почасовата температура на газа и на въздуха за същия период.

Намерени са функции на базата на регресионен анализ върху данните, които по зададена часова температура, с минимална грешка да определят съответните потребления в битовия сектори:

$$Q_{\delta um} = F_{\delta um}(t), \qquad (1)$$

където: t е часовата дневна температура, ^оС..

За определяне на търсените функции (1) е необходимо да се намерят техните аналитични формули, т.е зависимостите, които най-добре да описват характера на изменението на консумацията спрямо температурата.

Основни закономерности и аномалии на данните

Разглеждайки данните за дневната консумация (фиг. 2) се вижда, че те имат синусоидален характер. Той се изразява в това, че при по-ниски температури на въздуха е по-ниска и температурата на газа, а потреблението съответно е по-високо. Тази разлика достига в някои случаи до 30 % и причината за това е по-високото енергийно потребление, свързано с компенсиране на загубите на топлина при ниски температури на околната среда (Николов, 2007).

По този подход са подготвени таблици с данни:

- Температура/време (126 записа);
- Потребление/температура.

Таблиците имат колони, представящи записи от коректорите с: обща дневна консумация, часова дневна температура, часово потребление от разходомера, часово потребление от коректора.

Разработеният регресионен анализ дава възможност да се извърши обработка на съвкупности от данни.



Фиг. 2. Изменение на температурата и потреблението в изследвания период

Ясно изразена е връзката между температурата на въздуха (синята линия) и температурата на газа (в червено).

При по-ниски температури, поради дросел ефекта, се наблюдава снижение на температурата с още 1,5°С.

Определяне на функция, описваща дневната консумация

За намиране на функциите, описващи дневната консумация в зависимост от температурата, така че да се получи минимална грешка на прогнозата, е използван регресионен анализ.

С така въведените данни са извършени многократни опити за регресионен анализ с различни функции. Изхождайки от общата зависимост на консумацията спрямо температурата (фиг. 3), става ясно, че видът на търсената крива е огледално обърната S – образна, защото има насищане на консумацията при ниски и при високи температури (Ivezic, 2006).



Фиг. 3. Обща дневна консумация спрямо температура

Така е получена функция от вида, публикувана от Бояджиев (2012):

$$F(t) = ax^{3} + bx^{2} + cx + d$$
 (4)

Регресионният анализ всъщност намира стойности на коефициентите a, b, c и d, така че кривата да опише данните с минимална грешка.

Като оценка за точността на предсказаните стойности на температурата на газа, съпоставени с температурата на въздуха, се получава:

 коефициентът на корелация между данни от коректор 1 и коректор 2;

• грешка, получена чрез формулата:

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{|Tv_i - Tg_i|}{Tg_i}$$
(5)

където: N е броя на данните (дните), Tvi е температурата на въздуха °C, а Tgi е измерената температура на газа, °C за i – тия ден.

Като резултат се наблюдава сходимост в рамките на 97%.

Сравняване на данни за температурата на газа с тази на почвата и въздуха

Таблица 1.

Корелации и грешки, получени при анализите

	Сходимост на	а данните с	Сходимост на данните с				
	температура	на въздуха	температура на почвата				
	Корелация	Грешка	Корелация	Грешка			
потребител	0,97068	0,124098	0,850204	5,155364			

От таблица 1 се вижда, че корелациите, получени при анализ на данни, използващи температурата на въздуха, са много по-добри (по-близки до температурата на газа), отколкото при данни с температура на почвата. Връзката на тези температури се забелязва и на фигура 2. Съответно грешките при анализ на данни с температура на въздуха са по-малки от грешките, получени при анализ с температура на почвата. Следователно, може да се твърди, че регресионният анализ, извършен върху температура на въздуха, е достоверен по отношение на приемане на температурата на газа.

Получаване на прогнози

В рамките на разработената програма, която извършва регресионния анализ са включени модули, чрез които, на базата на намерените регресионни функции могат, да се извършват и прогнози на потреблението на газ.

По въведени от потребителя име на файл на MS Excel, брой дни и прогнозни средни дневни температури за всеки от тези дни, се генерира таблица на MS Excel със следните колони: прогнозни средни температури, прогнозни дневни консумации за бита, процент на консумацията в бита. В таблица 2 е показана такава прогноза за 10 дни.

Таблица 2

Прогнози, генерирани чрез намерените регресионни функции

	Температура, ∘С	Qb, m³/h	%
1	3	0.428	1.1991
2	4	0.42	2.9829
3	2	0.4923	1.2876
4	1	0.508	2.478
5	0	0.59	1.583
6	5	0.3	1.6593
7	6	0.2	1.7788
8	7	0.162	1.6969
9	8	0.18	2.3698
10	9	0.1	1.7129

Заключение

От часовото потребление за периода и температурите на газа, са направени анализи за определяне на функция, описваща тези зависимости.

След редица проби е установено, че функция от вида (4) най-добре описва дневната консумация на газ според средната дневна температура. Тези функция е:

$$Y = -1E - 04x^3 + 0,0047x^2 - 0,0772x + 0,6197$$
 (6)

Изследвайки резултатите на анализа, се прие, че функциите, получени чрез данни, които използват температурата на въздуха, дават по-точни оценки.

Може определено да се приеме в конкретния случай на това изследване, че температурата на околната среда (в случая въздуха) е в най-голяма степен в корелация с температурата на газа. Този извод налага, при определянето на корекционния коефициент за изчисляване на обема на газа в стандартни условия (1 атмосфера и 20°С), да се използва температурата на въздуха.

За разположението на разходомерите в сградите е необходимо провеждане на подобен експеримент за установяване на корелационни зависимости между температурата на газа и околната среда (почва, въздух, стълбища), при условията на използване на природен газ в битовия сектор.

Прогнозата за консумацията на газ би била по-точна за следващия отоплителен сезон, ако към вече съществуващата извадка се прибавят данните за изтеклите месеци от новия сезон и анализът да се прави наново. Така прогнозите биха останали актуални.

Литература

- Агаев, Н. Б. Краткосрочное прогнозирование объема газопотребления с изпользаванием искусственным нейронных сетей. – *Нефтегазовое дело*, 4, 2007. – 28-29.
- Николов, Г.К. *Разпределение и използване на природен газ.* С., Юкономикс, 2007. 213 с.
- Бояджиев, М.М. *Модел за краткосрочно прогнозиране на потреблението на природен газ*, Автореферат дисертация, МГУ, 2012. 35-38.
- Defireli, J., S. Gil. Modelo de Prediccin del Consumo de Gas Natural – *ENARGAS*, 2004. – 3-4.
- Ivezic, D. Short-Term Natural Gas Consumption Forecast FME Transactions, 34, 2006. – 2-3.

Physical Properties of Natural Gas, GASUNIE, 1998. - 12-18.

Статията е рецензирана от проф. д-р Ангел Димитров и препоръчана за публикуване от кат. "Сондиране, добив и транспорт на нефт и газ".

МИКРОСЕИЗМИЧНО СОНДИРАНЕ, СТАТИСТИЧЕСКИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПОЛЕТО В РАЙОНА НА ИНТЕРМИЗИЙСКИЯ РАЗЛОМ

Емил Ойнаков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, emil.ilievmg@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Представен е метод за построяване на дълбочинни разрези по относителната вариация на амплитудите и относителния контраст на сеизмичните скорости. Характерно за дълбочинното сеизмично сондиране е, че не се използват активни източници. Преимущества на метода са: съответствие на съвременните екологични изисквания за невзривно изучаване на дълбочинния разрез; много по-ниски разходи за осъществяване на измерванията, особенно ако се имат предвид изследвания на значителни дълбочини. Показани са резултатите от определянето на статистическите харектеристики на микросеизмичното поле и обработката на данните от полевите измервания в северо-източната част на България (зоната на т.н. Интермизийски разлом) по Метода на микросеизмичното сондиране. Те са съпоставени с предишни известни резултати.

Ключови думи: сеизмика, метод на микросеизмичното сондиране, Интермизийски разлом

MICROSEISMIC SOUNDING, STATISTICAL CHARACTERISTICS AND APPLICATION FOR THE REGION OF INTERMIZIYSKI FAULTS

Emil Oynakov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, emil.ilievmg@gmail.com

ABSTRACT. The micro seismic sounding (MMS) is a method for investigation of the deep structure using relative variation of the amplitudes and relative contrast of the seismic velocities. Usually the deep seismic prospecting is using active sources. Advantages of the method of (MSS) are: on one hand it corresponds to the modern environmental requirements for unexploded study of deep interior. On the other has a much lower cost of carrying out the measurements, especially if consider studies of larger Earth's depths. Below are the results of the determination of the statistical characteristics of microseismic field and processing of data from field measurements in north-eastern Bulgaria (area related usually to the Intra-Moesian fault). The method used all peculiarities of the micro seismic sounding (MSS). The results are compared with the previous known studies.

Key words: seismic, method microseismic boring, Intermiziyski fault

Въведение

Резултатите от изследването на микросеизмичното поле показват, че микросеизмичните колебания се проявяват в широк честотен и динамичен диапазон. Честотите варират от стотни части от Hz до няколко kHz, а амплитудата на колебание на точките на средата от части от нанометъра до няколко микрона. Основната енергия на микросеизмичния шум е концентрирана в диапазона честоти 0,05-0,25 Hz (периоди 12-20 s). Енергетичният спектър на микросеизмите, характерен за наблюденията на сушата, има два максимума: първият в честотния диапазон 0,05-0,08 Hz (периоди 12-20 s), вторият 0,01-0,25 Hz (периоди 4-10 s). По своята природа микросеизмите се явяват повърхностни еластични вълни.

Понастоящем съществува добре установена класификация на фоновото поле по характерния честотен диапазон. Разграничават се дългопериодни сигнали с T>1s и късопериодни - с период Т≤1s. Това в първо приближение съответства на разделянето на микросеизмите на такива с естествен и изкуствен произход (Bard ,1999). Микросеизмичното сондиране е метод, при който за оценка на геоложките параметри, се използват пространствените свойства на спектралните характеристики на микросеизмичния сигнал, измервани с отделни преносими прибори. Затова трябва да бъдем уверени ,че получаваните стойности се явяват достатъчно стационарни, т.е., че те не зависят от времето. Освен това, трябва да се разполага с определени сведения за състава на сигнала за последващия избор на модел за интерпретация.

Метод на микросеизмичното сондиране

Методът се базира на експериментално предположение за това, че вертикалната компонента на преместването в микросеизмичния шум е представена основно от вертикалната компонента на преместване на фундаменталната мода на вълните на Релей.

Доказано е експериментално и е изследвано върху числени модели, че нееднородностите в Земната кора по определен начин изкривяват спектъра на нискочестотното микросеизмическо поле (Горбатиков и др., 2008). Това означава, че на повърхността на Земята над високоскоростните нееднородности спектралните амплитуди на определена честота f намаляват, а над нискоскоростните нееднородности нарастват. Честотата fе свързана с дълбочината на залягане на нееднородността H и скоростта на фундаменталната мода на вълните на Релей $V_R(f)$ със съотношението (Горбатиков и др., 2008):

$$H=0.5(V_R(f))/f[m]$$
 (1)

където: V_R(f) и f са съответно - фазова скорост на фундаменталната мода на вълната на Релей с честота f и честотата в спектъра на микросеизмичния сигнал, за който се правят изчисленията.

При това, микросеизмичното поле се разглежда като суперпозиция от пакети на фундаменталните моди на вълните на Релей с различно честотно запълване.

Използва се следният алгоритъм от процедури включващи:

- Последователно измерване на статистически устойчивите спектри на микросеизмите във всички точки на мрежата или профила. Достигане на статистически устойчив микросеизмичен сигнал, натрупан в течение на експериментално определения период на стационарност на сигнала. Това става в рамките на няколко часа.
- Построяване на карта, или на профил на разпределение, на амплитудата, за всяка честота в спектъра.
- Привързване на получените карти или профили към съответната дълбочина, изхождайки от отношението:

$$H(f) = k_G \lambda_R(f) = K_G(V(f))/f \quad [m]$$
(2)

,където H(f)-дълбочина на слоя, за който се строи изображението, m; $\lambda_R(f)$ - дължината на вълната на фундаменталната мода на Релей, m; f - честота в спектъра на микросеизмичния сигнал, за който се правят изчисленията, Hz; $V_R(f)$ - фазова скорост на фундаменталната мода на вълната на Релей с честота f, m/s; k_G – коефициент на дълбочинно привързване, оценен емпирично в диапазона 0,4 – 0,5 (Горбатиков, 2005).

Реализацията на този подход води до необходимостта да се контролират два фактора: 1) определяне на преобладаващия вълни в анализираното тип микросеизмично поле за правилната интерпретация на резултатите и 2) стационарността на измерваните статистически параметри, за установяване еднозначна връзка между пространствените особености на геоложкия строеж и пространствените характеристики на микросеизмите. Второто условие се налага, ако измерванията в точките на измервателната мрежа не се изпълняват едновременно (напр. последователно).

За да се изключат проблемите, свързани с различните периоди на стационарност на микросеизмите в различните честотни диапазони и ограничеността на тези периоди (Gorbatikov et al., 2004) е предложено микросеизмичното сондиране да се изпълнява, като се приема, че една от точките в изследвания полигон е опорна. Измерванията в останалите точки от мрежата се правят едновременно с измерванията в опорната точка.

Изследване структурата на Интермизийския разлом (ИМР) с Метода на Микросеизмичното сондиране (ММС).

Тектонична позиция и сеизмична активност

Зоната на ИМР пресича Мизийската плоча в северозападно направление (фиг. 1). Тя повече или помалко уверено се проследява на разстояние 250 km от Предкарпатското понижение на северозапад до Черноморското крайбрежие в района на г.Шабла и с.Ваклино на югоизток (Дачева, 1989; Чешитев, 1991; Шанов, 1996 и др.).

Мизийската платформа е сравнително млада платформа. Тя е разположена в централната част на сеизмично активния Карпато-Балкански регион между планинските масиви Карпати и Балкани. На югозапад граничи със старата Източно-Европейска платформа, североизточно е отделена от Скитската плоча с орогена Северна Добруджа, а на изток достига Черно море.

Мизийската плоча е изразена в релефа във вид на невисоко издигане (с височина 100-200 м над морското равнище) с равна, слабо хълмиста повърхност.



Фиг. 1. Схема на североизточна България с показани обобщени разломни зони по данни от различни автори и изолинии на гравитационното и магнитно поле. С триъгълници са означени точките на измерване по профилите на микросеизмичното сондиране.

Някой статистически характеристики на полето в района на Интермизийския разлом

Структурата на микросеизмичното вълново поле, което се наблюдава непрекъснато, в който и да е пункт на измерване, е тясно свързана със структурата и геоложкия строеж на земната кора. Всички регистриращи се колебания имат индивидуални амплитудно-честотни характеристики, времеви режим на съществуване и вариации (посттояни, периодични, спонтанни) и, което е особено важно, избирателно пространствено разпространение в геосредата.

Амплитудно-честотният спектър е една от важните информативни харектеристики на микросеизмичния

процес, която е особено чувствителна към структурните и геодинамичните условия на геоложката среда в района на измерване. Влиянието на геоложките параметри на формирането на микросеизмичното поле и неговия спектър са отбелязали много изследователи. На фигура 2 е показан фрагмент от запис и амплитудно-честотният спектър на микросеизмично поле, типично за геоложките условия на южната част на Мизийската платформа.



Фиг. 2. Фрагмент от запис на вертикалната компонента на полето и неговия амплитудно-честотен спектър - сеизмостанция Ппеселенци (BS.PSN..BHZ.D., 2008)

На фигура 3,а е показан трикомпонентен запис на микросеизмичното поле от станция CFR.RO в северната част на Мизийската платформа. На записа добре се вижда, че това е сложен вълнови процес, обусловен както от едновременното действие на няколко източника, а също, че той се състои от вълни от различен тип и честоти.



Фиг. 3. а) Трикомпонентен сеизмичен запис, б) Вертикална компонента и нейния спектър от станция CFR.RO (Румъния)

Типичният за Мизийската платформа спектър на вертикалната компонента на микросеизмичните колебания условно може да се раздели по честота на няколко области (диапазона): 1) област на дългопериодични микросеизми с честота по малка от 0,1 Hz (област на колебание на грунта, предизвикано от телесеизмически земетресения); колебанията в диапазона честоти от 0,1 до 0,3 Hz се наричат «щормови» микросеизми (източниците на тези колебания са разположени на акваторията на океаните и моретата); 2) област на минимума на амплитудата на вертикалната компонента (Z) на честоти 0,5 – 1,4 Hz – областта от спектъра, намираша се на границата на нискочестотните и високочестотните сеизмически шумове. Тя е найстабилна по отношение на времевите вариации; 3) високочестотна област на спектъра (1,5 – 10 Hz), в която значителен дял в амплитудата на колебанието на грунта и горния земен слой, наред с естествените източници на шум, внасят и техногенните източници.

фигура 4 показано вариацията Ha е на микросеизмичния шум (Z-съставяща) за периода 2013-2014 година (средно дневно изменение на интензивността на микросеизмичното поле) на станция CFR.RO (Carcalin).



Фиг. 4. Вариация на нивото на микросеизмичния шум (Z– съставяща) за период 2013-2014г.(интервал на осредняване 24 часа) на сеизмостанция CFR.RO (long.-45.178; lat. -28.13619; elev.-73)

На фигура 4 се вижда ,че микросеизмичното поле има годишна периодичност и сезонни изменения (зима, пролет, лято, есен) на нивото на микросеизмичния шум. През лятото микросеизмичният шум се намира на нива 1450-1550 и само при микросеизмични "бури" се вдига до нива 1500-1600. През зимните месеци средното ниво на шума се вдига до 1500-1700, а локалните смущения достигат нива 1300-1900 nm/s.

Анализирайки приноса във вариациите на интегралния шум (целият спектър на колебанието) на отделни честотни диапазони, може да се направят някои предположения за природата на източниците на колебания и причината за тяхната вариация.

На фигура 5, а, б се вижда, че в диапазона честоти 0,1 – 0,3 *Hz* нивото на шума е подложено на най-големи промени в продължение на половин годишни. Дори в летните месеци на тренда на половин годишния цикъл са регистрирани "сеизмически бури". На честоти 1 – 8 *Hz*, където е особено голям приносът в сеизмичните колебания на антропогенните фактори, се забелязва спад в нивото на микросеизмичния шум. Очевидно е, че особено внимание заслужават колебанията в честотния диапазон 0,7 – 1,4 *Hz* - най-устойчиви към времевите вариации и информативни по отношение на нееднородностите.

На фигура 6 са представени типичните графики на вариациите на микросеизмичния шум с интервал на осредняване 5 часа през летния (фиг. 6,б) и зимния период (фиг. 6,а) на сеизмостанция CFR.RO Вижда се, че през лятото определящо във времевите изменения на нивото на микросеизмичния шум се явява делът на вариации, свързани денонощните основно С антропогенни източници. През зимния период основен принос за изменението на нивото на микросеизмичния шум е колебанието на честоти 0,1 – 0,3 Hz, а денонощните високочестотни вариации практически не се виждат.



Фиг.5. а) Вариации на среднодневното ниво на микросеизмичния шум, измерен на сеизмостанция CFR.RO (Carcalin) през 2013г. и филтриран в три честотни диапазона: 1. 0,1 – 0,3 Hz; 2. 0,7 – 1,4 Hz; 3. 1,0 – 8,0 Hz б) Вариации на среднодневното ниво на микросеизмичния шум, измерен на сеизмостанция CFR.RO (Carcalin) през 2013г. и филтриран в два честотни диапазона: 1. 0,7 – 1,4 Hz; 2. 1,0 – 8,0 Hz



Фиг. 6. Изменение на микросеизмичния шум на сеизмостанция CFR.RO през юли (б) и януари (а) 2013г.

Резултатите от анализа на поведението на дисперсията на микросеизмичния сигнал в честотния диапазон 0,03 – 15 Hz в увеличаващ се времеви прозорец са показани на фигура 7. За анализа е взет двудневен непрекъснат микросеизмичен запис, направен на станция PSN.BS (с. Преселенци; 04.04 -05.04.2008г.) Могат да се отделят следните участъци на особено

поведение за всички дисперсионни криви. (1) Началният участък практически на всяка крива има характерен рязък подем или спад. Продължителността на участъка е около 30 min. (2) Всяка крива има характерен участък на стабилизация с продължителност 20 – 40 min. (3) Всяка крива завършва с участък на гладко издигане или спад. Добре се вижда ,че опашните участъци на всички криви не клонят към някаква определена стойност, а тяхната граница зависи от началното време на анализа на дисперсията. По такъв начин, се вижда, че случайният микросеизмичен сигнал не се явява стационарен за голям интервал от време, от порядъка на няколко часа. Въпреки това, наличието на определен участък на стабилизация (участък 2) позволява да се постави въпросът за експерименталното изследване на неговата продължителност и оценка на интервала на стационарност на сеизмичния сигнал в различни честотни диапазони.

Както е известно, автокорелационната функция на случаен процес се стреми към нулева стойност при големи стойности на колебанието. В случай на присъствие на хармонично колебание автокорелационната функция повтаря своята форма във времето. По такъв начин, тя представлява средство за идентифициране на детерминирани процеси, които може да са маскирани в случаен фонов шум.





На графиката на фигура 8 се вижда характерният за широколентов случаен шум голям пик, който рязко затихва при промяна. Може да се заключи, че микросеизмите в района на с. Преселец по своя състав се приближават към широко лентов случаен шум.



Фиг. 8. Автокорелационна функция на сигнала в диапазона 0,03-15 Нz на - сеизмостанция Преселенци (BS.PSN..BHZ.D.2008). Дължина на записа 4 min.

За изследване на нормалността на микросеизмичния сигнал по времето на реализациите е изчислена хистограма на плътността на разпределение на скоростите на колебание (фиг. 9).

Анализът на нормалността е направен по един от най-удобните непараметрически критерии. Същността на този метод на проверка се състои в това, че в качество на мярка на разликата на наблюдаваната и теоретичната плътност на разпределението се използва определена статистика, описана с приближено разпределение х². В резултат на анализа се получава ,че разпределението не е нормално в строгия смисъл, макар формата да е много близка към Гаусовото разпределение.



Фиг. 9. Хистограма на микросеизмичния сигнал в диапазона 0,03-15 Нz на Интермизийския разлом

За доказване на стационарността на случайния процес е необходимо всичките му статистически характеристики да не се променят с течение на времето. На практика такава проверка е неосъществима. Може да се направят няколко важни допускания, които обичайно се изпълняват за повечето наблюдавани в природата случайни процеси: (1) Първото допускане се състои в това, че доказателство за вътрешната стационарност на отделните реализации може да послужи като доказателството за стационарността на случайния процес, на който принадлежи дадената реализация. (2) Второто допускане предполага, че за доказване на стационарността е достатъчно да се провери слабата стационарност на процеса, т.е., че средната стойност и автокорелационната функция не зависят от времето. При това моментите от по-висок порядък се игнорират. (3) Третото допускане предполага, че дължината на изследваната реализация е достатъчно голяма, в сравнение със случайните колебания, съдържащи се в тази реализация. Това е важно, за да може в резултат на осредняването по малки интервали от време, да се получат стойности, правилно отразяващи осреднените характеристики на целия процес. (4) Четвъртото допускане се състои в това, че ако дисперсията на изследвания процес е стационарна, то И автокорелационната функция на процеса е също стационарна.

Микросеизмично сондиране и резултати

Дълбочинните геофизични изследвания по трите профила, показани на фигура 1 са направени по Метода на микросеизмичното сондиране (ММС) с разстояние между сеизмоприемниците средно 1000 m. Трите вертикални разреза на фигура 11 са построени по параметъра на вариации на амплитудите.

В съответствие с физическите основи на метода, областите от средата, имаши сравнително високи сеизмични скорости. се проявяват в измереното на повърхността микросеизмическо поле във вид на понижаване на интензивността на сигнапа 38 еквивалентния хоризонт. И обратно, нискоскоростните области се проявяват във вид на повишена относителна интензивност. Относителна интензивност означава, че измерванията са направени по отношение на опорна станция (сеизмостанция Преселенци). На профилите В-В' и С-С' отчетливо се отделя седиментната покривка, във вид на светли хоризонти в горната част на разреза на земната кора, изклиняващи от юг на север. Това съвпада с наличните геоложки и геофизични данни и отразява известния дълбочинен строеж на Варненската падина.



На разрезите А-А' и С-С' (фиг. 11) се проследяват светли вертикални зони с ширина около 2 km. На разреза А-А' има две такива зони (1 и 2), проследяващи се от дълбочини, около 10 до 35 km. На профила С-С' се отделя една зона (3) с дълбочина 12-15 до 35 km. Забелязва се, че светлата зона 2 на разреза А-А' трасира не много отчетливо, една светла ивица до повърхността (фиг. 6), докато за зоните 1 и 3, такова проникване в найгорния слой няма. Може да се отбележи също наличието на други, не много силно изразени, вертикални структури на разрезите В-В' и С-С', а имено зоните 4, 5, 6, и 7.

Формата и сравнително ниските стойности за зоните 1, 2, и 3, дават основание да се интерпретират, като погребани корени на разлома. При това може да се предположи, че яркостта и наличието на трасировка до повърхността на зона 2, говорят за относителна съвременна активност на дадения фрагмент от разлома.

Съпоставяйки материалите, получени с различни методи, може да се отбележи, че зоните, интерпретирани на микросеизмичните профили като разломи (фиг. 11), в план съответстват на известните зони на разлома (фиг. 1). Те са потвърдени в процеса на геологогеоморфоложки изследвания. Зона 1 от профил А-А лежи на линия със северозападна посока, проследена с фрагменти от повърхностни приразломни депресии. В същото време, тя гравитира към северната граница на затъмнената зона на Интермизийския разлом (фиг. 1). Наблюдава се ясна привързаност на зона 5 от профила В-В' към южния клон на зоната на ИМР. а зона 4 към друга, по-южна разломна система (фиг. 1). Отбелязва се, че за зона 5 също има съответствие на геоморфоложките форми на повърхностните разломи. Още една ярка и дълбока разломна зона (зона 3 от профил С-С'), също така съвпада в план със зоната на ИМР и намира потвърждение в резултатите от геоморфоложкото проучване на района. Взимайки под внимание характера на всички отделени по метода на микросеизмичното сондиране разломни зони, може обосновано да се предположи, че ИМР не се явява активен в настояще време. Напротив, съдейки по ярката изразеност в разреза и на повърхността, той пресича система от поактивни в настояще време разломи със субмередиална посока (фиг. 1)

Заключение

Изследването показва, че под влияние на локалните повърхностни и дълбоки геоложки СТРУКТУРИ. микросеизмичното поле в честотния диапазон 0,03-1,0 *Hz*, изпитва аномално изкривяване. То показва, че амплитудите на микросеизмите намаляват над високоскоростните и се увеличават над нискоскоростните нееднородности. Като е предпоставено, че съставът на микросеизмичното поле, е суперпозиция от пакети на фундаменталните моди на вълните на Релей с различно честотно запълване, е намерена връзка между дълбочината на залягане на нееднородностите и спектралната честота f на микросеизмичния сигнал. При това се получават аномалии, които се определят с релацията

$$H=0,5\lambda_{R},[m]$$
(3)

където: *H*-дълбочина на залягане на нееднородноста, λ_{*R*}дължина на фундаменталната мода на вълната на Релей:

$$\lambda_{R} = (V(f))/f, \text{ [m]}$$
(4)

където: V(f) е фазовата скорост на вълната на Релей на честота f, m/s.

Получените резултати, потвърждават възможността за използване на микросеизмите за изучаване на дълбочинния строеж на геоложкия разрез и прилагането им при някои основни структурни изследвания в определени райони на България.

Литература

- Боков, П., Х. Чемберски. Геоложки условия за находища на нефт и газ в Североисточна България. София: Техника. 1987. - 332 с.
- Горбатиков, А.В. Патент на изобретение № RU2271554. "Способ сейсморазведки". Дата приоритета 25.03.2005
- Горбатиков, А.В., М.Ю. Степанова, Г.Е. Кораблев. Зокономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локалных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм. *Физика Земли*, 2008. - 66-82.
- Дачева, Хр., В. Станев, П. Боков. Резултаты исследований сектора Черного моря и сопредельных районов суши. В: Строение и еволюция земной коры и верхней мантии Черного моря/ Под ред. Белоусова В.В., Вольвовского Б.С.М. 1989. - 163-165.
- Чешитев, Г., Ц. Чонтова, Н. Попов,, Е. Кюмджиева. Геоложка карта на България. Мащаб 1:100000. 1991.
- Шанов, С., Ю. Карагюлева. Следсарматски структури и поле на тектонските напрежения в Североизточна България. *Спис. на БГД*, 57, 1. 1996. 53-60.
- Bard, P. Microtremor measurements: A Tool for the Effect Estimation. The Effects of Surfase Geology on Seismic Motion. Balkeman. Rotterdam. 1999. – 1251-1279.
- Gorbatikov, A.V., A.V. Kalinina, V.A. Volokov, J. Arnoso, R. Vieira, E. Velez. Results of Analysis of Data of Microseismic Survey at Lanzarote Island, Canary, Spain// Pure appl. Geophys. 161, 2004. - 1561-1578.

Статията е рецензирана от проф. д-р Стефан Димовски и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ГЕОРАДАРНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ПАМУК МОГИЛА КРАЙ С. БРЕСТОВИЦА, ОБЩИНА РОДОПИ, ОБЛАСТ ПЛОВДИВ

Християн Цанков, Атанас Кисьов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, ch.tzankov@gmail.com, at.kisyov@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Памуклията или Памук могила е тракийска надгробна могила, разположена край с. Брестовица, обл. Пловдив. Могилата е висока почти 13 m и има диаметър в основата около 70 m. Първите археологически разкопки на могилата са осъществени през лятото на 2013г. Като резултат от това, в могилата са открити общо шест гроба, съдържащи множество ценни и уникални артефакти. През есента на същата година, в рамките на вече разкопаната могила, са проведени експериментални георадарни проучвания, резултатите, от които са представени в настоящия доклад.

Ключови думи: Археогеофизика, георадар, тракийско културно наследство

EXPERIMENTAL GEORADAR SURVEY ON PAMUK MOUND LOCATED NEAR BRESTOVITSA VILLAGE IN PLOVDIV REGION Christian Tzankov, Atanas Kisyov

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, ch.tzankov@gmail.com, at.kisyov@gmail.com

ABSTRACT. Pamukliyata or Pamuk (cotton) mound is a Thracian mound located near Brestovitsa, Plovdiv region. The mound is almost 13 m high and about 70 m wide at the base. The first archaeological excavations of the Pamuk mound were conducted in the summer of 2013. As a result, six graves containing many valuable and unique artefacts were discovered. During the autumn, part of the the already excavated mound was covered with experimental ground penetrating radar survey. The results from the tests are presented in this report.

Key words: Archaeo-Geophysics, ground penetrating radar (GPR), Thracian heritage

Въведение

Основната геофизична задача, решавана в района на археологичните изследвания, е свързана с провеждането на експериментални георадарни проучвания, които имат за цел търсенето и локализирането на археоложки обекти под повърхността на надгробна могила № 1 ("Памуклия") (фиг. 1). Друга задача, поставена пред георадарните работи, се състои в оценяване на потенциалните възможности на метода при проучване на археологически обекти (Тонков, 2013, Цанков и Янкова, 2013).

Използвана георадарна апаратура

Георадар модел SIR-3000

Използваната система SIR-3000 е произведена от Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI, 2013) USA. SIR-3000 е компактна и лека измервателна система, пригодена за работа с един единствен оператор, осигурявайки достъп до настройки и функции, както за напреднали, така и за начинаещи изследователи. Георадарът интегрира разнообразни филтри, визуализации, 3D изобразяване и др. полезни възможности.

Някой от основните задачи, при които успешно се използва SIR-3000, са свързани с локализиране на

комуникации и зарити обекти; геоложки и геотехнически изследвания; археология; криминология; изследване състоянието на мостове, железобетон или цимент; минно дело и др. (Jol, 2008).

Георадарна антена модел 5104А

Изследванията са проведени с екранирана 270 MHz георадарна антена модел 5104А, производство на GSSI, Inc. Средночестотната антена модел 5104А е предназначена за решаване на инженерни, геотехнически, инженерно-геоложки, археоложки и др. задачи (Demireva & Tzankov, 2013). Дълбочинният обхват на изследване е от 0 до 6 m. Успешно се използва за пространственото определяне на зарити обекти, комуникации, ниво на подземните води и др.

Техника и методика на проведените изследвания

Геодезично заснемане

Пространственото обезпечаване на георадарните работи е осъществено с помощта на предоставените от Регионален Археологически музей – Пловдив материали за геодезичното заснемане на надгробна могила № 1 ("Памуклия"), намираща се североизточно от с. Брестовица. За привързване на данните от геофизичното проучване, са използвани разположените в характерни точки от повърхността на могилата дървени колчета (репери), както и ръчни GPS устройства, оразмерени въжета и рулетки.



Фиг. 1. Обзорна сателитна карта с разположение на изследваната надгробна могила № 1 ("Памуклия")

Техника и методика на провеждане на георадарните изследвания

Георадарните измервания са проведени в заравнен участък с L-образна форма, разположен в горната част на могилата. На представената фигура 2, изследваната площ е очертана с пунктирана линия. Проучванията са проведени по две основни, почти перпендикулярни направления, успоредни на двата отвесни ръба на изследваната площадка към изкопаната централна част на могилата (фиг. 2 и 3).



Фиг. 2. Топографски план на проучената с георадар надгробна тракийска могила № 1 ("Памуклия")

Първата група от георадарни профили (Профили от 1 до 7) имат ориентация изток-югоизток – запад-северозапад и са разположени успоредно един на друг на отстояние 1 m. Профилите са прокарани последователно от север на юг, като в най-южния участък два от тях следват очертанията на изкопа, минавайки косо на останалите 5 (фиг. 2 и 3).



Фиг. 3. Уголемен участък от топографския план на фигура 2 със схема на разположението на проучвателните георадарни профили

Ориентацията на останалите профили (Профили от 8 до 13) е юг – север и също са прокарани успоредно един на друг на 1 m отстояние. Измерванията са извършени последователно от изток на запад.

Придвижването по профилите е осъществено чрез количка за пресечен терен модел 643 (фиг. 4), снабдена с електронно измервателно колело, към която се прикрепват георадарът и измервателната антена. Натрупването на данни е извършено при следните настройки на апаратурата:

- интервал на дискретизация: 4096 семпъл/скан;
- скорост на сканиране: 50 скан/m;
- времеви прозорец: 150 ns;

- усилване на сигнала (dB): 5 точково
- верт. филтър: LP =700 MHz; HP =20 MHz; хор. филтър: не.

Данните от георадарните изследвания са натрупани в 16 bit *.dzt (RADAN) формат и прехвърлени на работна станция за постпроцесинг.

Дължината на радарграмите по профилите варира в зависимост от проходимостта на терена. Общата дължина на георадарните измервания е 116,78 m. Дължината на профилите с ориентация юг-север възлиза на 85,22 m. Тоталната дължина на георадарните профили е 202,00 m.



Фиг. 4. Схематично разположение на георадарните профили в изследвания участък от надгробната могила № 1 ("Памуклия") разположена североизточно от с. Брестовица



Фиг. 5. Изглед (фотография) към южния участък от изследваната площ по време на проучвателните работи с ясно изразен пласторед (горе) и наложен образ на част от радарграмата по Профил 1 (долу)

Обработка на георадарните данни

Процесинг на георадарните данни

Георадарните данни са въведени във RADAN формат (*.dzt), след което са обработени в програмата ReflexW. Стандартно са извършени девет нива на процесинг, като при отделни радарграми е извършена допълнителна обработка за постигане максимална чистота на сигнала и надеждност на интерпретацията (Conyers, 2012).

Направен е и експеримент за създаване на 3D модел на изследвания участък (Bekic, 2012).

Определяне скоростта на електромагнитната вълна

За правилната интерпретация на георадарните данни е необходимо да бъде определена скоростта на преминаване на електромагнитната вълна през изследваната среда. Съществуват няколко основни метода за това.

В конкретния случай е използван комбиниран подход, при който първо се определя дълбочината до съществуваща "опорна" граница. След това вероятните стойности на търсените скорости се изменят ръчно, в рамките на таблично определен интервал до постигане на съвпадение между дълбочината на изображението на "опорната" граница от радарграмите с реално измерената такава.

За "опорна" е използвана, ясно изразената на фигура 5 (горе), хоризонтална граница с дълбочина около 2,1 m. Границите 0,120 – 0,173 m/ns, в които е извършено търсенето на най-подходяща скорост на разпространение на вълните, са съобразени с вида на изследваната среда, а именно сухи глинесто-песъчливи почви. Избраната по този метод окончателна скорост на електромагнитните вълни, при която е извършена интерпретацията на радарните данни е v = 0,125 m/ns. Имайки предвид наблюдавания по проучвания терен земен материал и високата степен на корелация между реалния разрез и получената по Профил 1 радарграма, тази стойност може да се приеме за правдоподобна.



Фиг. 6. Интерпретирани георадарни профили от обект "Тракийска надгробна могила № 1 ("Памуклия"), с. Брестовица": вляво – с направление запад-северозапад – изток-югоизток (Профили 01 – 07); вдясно с направление юг – север (Профили 08 – 13)

Анализ и интерпретация на получените резултати

Георадарните профили, 13 на брой, разположени през около 1 m по двете издължени страни на изследваната площ (7 по участъка със запад-северозапад – изтокюгоизточна ориентация и 6 по участъка с направление югсевер), покриват напълно изследваната площ. С цел по-прегледно визуализиране на резултатите и възможностите на метода, радарграмата по Профил 1 е наложена върху фотографирания вертикален откос представен на фигура 5. Видно е, че в голяма степен наблюдаваният в разреза на могила № 1 ("Памуклия") пласторед, се проявява по един или друг начин на наложената радарграма. Най-добре е изразена хоризонталната граница, намираща се на около 2,0 – 2,2 m дълбочина. Останалите наблюдавани на терена тенденции (повърхнини на насипване) при изграждането на могилата се характеризират със сложна интерференчна картина, която също се корелира добре с изучавания разрез. Тази демонстрация е обоснована от факта, че Профил 1 се намира в непосредствена близост (около 1 m) до ръба на площадката, респ. отвесния откос.

В най-общи линии радарграмите показват, че изследваният участък се характеризира със сложен разрез, представен от серия несъгласни и неиздържани граници. На фигура 6 са отделени два сравнително издържани хоризонта: първият на около 1,9 – 2,4 m, а вторият – не толкова контрастен на около 5 – 6 m дълбочина.

Първият хоризонт, както и останалите несъгласни граници (очертани с черна линия на фигура 6), следва да се обяснят с особености в строежа на надгробната могила и най-вероятно съвпадат с различни повърхнини на насипване. В тях, поради разлики в диелектричните свойства на използвания материал, се наблюдават отражения на електромагнитните вълни. Този участък достига дълбочина от около 4,5 – 5,5 m, като радарният сигнал се отличава и с по-високи стойности на периода и амплитудите на отделните трасета.

Вторият хоризонт (отбелязан на фигура 6 с черна прекъсната линия) се привързва с вероятното разположение на коренните скали. Трябва да се има предвид, обаче, че тази граница частично се припокрива с границата на допустимото съотношение сигнал/шум. Поради тази причина е възможно реалното й разположение да се отличава ОТ това на интерпретационния модел.

Заключение

Във връзка с проведените експериментални георадарни изследвания на надгробна тракийска могила № 1 ("Памуклия"), разположена в землището на с. Брестовица, общ. Родопи, обл. Пловдив, могат да бъдат направени следните изводи, заключения и предложения:

- В района на могилата са проведени георадарни проучвания по 13 профила с обща дължина 202 m.
- Георадарните данни са обработени и интерпретирани (фиг. 6).
- Съгласно интерпретацията, изследваният участък се характеризира със сложен разрез, представен от серия несъгласни и неиздържани граници, съответстващ на

повърхнините на насипване при изграждането на надгробната могила.

- За постигане на по-качествени и надеждни резултати е необходимо георадарните проучвания да се извършват по предварително проектирани и геодезически заснети търсещопроучвателни профили.
- За създаването на качествени триизмерни модели на изследваните обекти е необходимо георадарните профили да бъдат проектирани по правоъгълни проучвателни мрежи с гъстота на профилите до 1 m.
- Резултатите от георадарните проучвания могат да послужат за насочване на археолозите целенасочено да направят своите сондажи (разкопки).

Основното заключение, което се налага от направените дотук бележки относно георадарния метод е, че той може да бъде използван успешно за търсене, локализиране и потвърждаване наличието на под повърхностни обекти с антропогенен характер, в различни в структурно отношение археоложки обекти, както и за насочване на детайлни геофизични работи и/или проектиране на археоложки работи.

Литература

- Тонков, Н. Геофизични методи в археологията: Оптимизиране на методиката за проучване на надгробни могили. С., Българско е-Списание за Археология, 2013. - 403 с.
- Цанков, Хр., М. Янкова. Георадарът навлиза широко в полевата геофизиката. – *Минно дело и геология*, 5/6, 2013. – 31–35.
- Bekic, G. Topography correction and the importance of applying it to the GPR records. *GEOSCANNERS AB*, No. AN012072911EN, 2012. 8 p.
- Conyers, L. B. Interpreting Ground-penetrating Radar for Archaeology. Left Coast Press, 2012. - 220 p.
- Demireva, El., Ch. Tzankov. GPR through a Water Mirror Defining the Topography of a Bottom and the Depth of the Sediments beneath the Water Layer. 7th Congress of Balkan Geophysical Society, Tirana, Albania, 7-10 October 2013.
- GSSI. SIR System-3000: User's Manual. Geophysical Survey Systems, Inc., 2013. 99 p.
- Jol, H. M. *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*, Elsevier, 2008. - 544 p.

Статията е рецензирана от проф. д-р Ради Радичев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ БУРОВЫХ РАБОТ

Цэвээнжав, Ж.¹, Дугэржав, Л.², Наранбат, М.³, Чинбат, Ч.⁴, Тувшинбаяр, Д.⁵, Ганбаатар, П.⁶, Улзийсайхан, О.⁷

¹ МГУНиТ, Буровая ассоциация Монголии, btseveen2003@yahoo.com

² Посольство Монголии в Болгарии, dugeree_mn@yahoo.com,

³Буровая ассоциация Монголии, naranbat_0502@yahoo.com

⁴ КОО "Монзол", monzol55@yahoo.com, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁵ ГРП ГОК Эрдэнэт, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁶ КОО "Тананимпекс" prv_ganbaa@yahoo.com,

⁷ Стамбульский университет, Турция, olzii_mt@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Бурение как исследование, обслуживанние или бизнес является одним из сложных технологических процессов в минерально-сырьевой отрасли и весьма актуальными являются изучение и оценка технолического уровня этого вида деятельности, так как от технолоигческого совершенства бурения, во многом, зависят успехи и экономика геолого-разведочных и горно-добываюших промышленностей. На основании проведенных исследований нами сделаны следующие выводы и заключения: 1) Технологический уровень буровых работ Эрдэнэтского ГОКа КУТ=0,6985, что означает удовлетворительный и выше средного показателя отрасли (КУТ=0,6298), но ниже чем зарубежных компаний (КУТ=0,7802), работающих в Монголии; 2) Для уточнения технологического уровня буровых организаций необходимо иметь стандарт технологии бурения различными способами; 3) В дальнейшем необходимо усовершенствовать методику оценки технологического уровня любого вида производственных процессов, в том числе бурения.

Ключевые слова: бурение, оценка, технологический уровень.

ОЦЕНКА НА ТЕХНОЛОГИЧНОТО НИВО НА СОНДАЖНИТЕ РАБОТИ

Цэвээнжав, Ж.¹, Дугэржав, Л.², Наранбат, М.³, Чинбат, Ч.⁴, Тувшинбаяр, Д.⁵, Ганбаатар, П.⁶, Улзийсайхан, О.⁷

¹ МГУНиТ, Сондажна асоциация на Монголия, btseveen2003@yahoo.com

² Посолство на Монголия в България, dugeree_mn@yahoo.com,

3 Сондажна асоциация на Монголия, naranbat_0502@yahoo.com

⁴ КОО "Монзол", monzol55@yahoo.com, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁵ ГРП ГОК Эрдэнэт, tuvshinbayar@erdenetmc.mn

⁶ КОО "Тананимпекс" prv_ganbaa@yahoo.com,

⁷ Истамбулски университет, Турция, olzii_mt@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Сондирането като метод на изследване, обслужване или бизнес е един от сложните технологични процеси в минерално-суровинния отрасъл. Поради това е много актуално изучаването и оценката на технологичното ниво на този вид дейност, тъй като в голяма степен от технологическите качества на сондирането, зависи успехът и икономиката на геолого-проучвателната и минно-добивната промишленост. Въз основа на проведените изследвания могат да се направят следните заключения: 1) Технологичното ниво на сондажните работи на Ерденетскто ГОК КУТ=0,6985, което означава, че е удовлетоворително и по-високо от средния показател за отрасъла (КУТ=0,6298), но е по-ниско от това на чуждестранните компании (КУТ=0,7802), които работят в Монголия; 2) За точното определяне на технологичното ниво на сондажните организации е необходимо да има стандарт за технологията на различните видове сондиране; 3) В бъдеще е необходимо да се усъвършенства методиката за оценка на технологичното ниво на сондажните организации е на технологичното ниво на сондажните организации е на технологичното ниво на розличните видове сондиране; 3) В бъдеще е необходимо да се усъвършенства методиката за оценка на технологичното ниво на всеки вид производствен процес, включително и на сондирането.

Ключови думи: сондиране, оценка, технологично ниво.

Введение

Если 19-ый век характеризовался как промышленным, а 20-ый век-как информационным, то нынешный 21 век ознаменуется как технологическим веком. В настоящее время технология рассматривается как процесс превращений научных знаний, разработок и информаций, в основном, путём применения (использования) машин и оборудований в товары, услуги и естественно бизнес (Отгонцэцэг, 2009). Бурение как исследование, обслуживанние или бизнес является одним из сложных технологических процессов в минерально-сырьевой отрасли и весьма актуальными являются изучение и оценка технолического уровня этого вида деятельности, так как от технолоигческого совершенства бурения, во многом, зависят успехи и экономика геолого-разведочных и горно-добываюших промышленностей.

Методика исследований

Нами технология рассматривается как изучение (research) и развитие (development) производственных процессов, то есть R & D.Технология занимает как бы промежуточное место между науки (science) и производства (industry). Современная технология всегда базируется на научные разработки, а в свою очередь лучщая технология служит основой открытия новых закономерности, а с другой стороны передовая производственный опыт. Если высокоразвитые с мощной экономикой страны в основном, выделяют большие средства на развитие как науки, так и технологию, то развивающийся страны в большинстве заинтерсованы во внедрены передовых технологически разработок.

Разработка и внедрение технологии имеет несколько этапов, а именно: 1) разработка или выбор; 2) вырастание (инкубация); 3) испытание (модельной установки или пилотное производство), 4) освоение (массовое производство), 5) трансмиссия (патент) и наконец 6) внедрение в массавом масштабе (Цэвээнжав, Тувшинбаяр, 2011).

Оценка технологического уровня буровых работ нами осуществлёна путём расчёта коэффициента участия технологии (КУТ). КУТ показывает достигнутый уровень: а) работника, участвующего в осуществлении данного производства, в нашем случае, буровика (образование, знание, специализация, умение и способность); б) техники (модель, мощность, поколение, возраст, производитель); в) информации; г) организации и их соотвествие, взаймосвязь и взаймозависимость.

$$KYT = T^{\beta_t} H^{\beta_h} I^{\beta_i} O^{\beta_o}$$

Здесь:

T (technique) - показатель технической вооружённости, осуществляющий данную технологию;

Н (*human*) - показатель рабочей силы осуществляющий данную технологию;

I (information) - показатель информационности о данной технологии;

О (*organization*) - показатель организации данной технологии;

β - интенсивность влияния данного показателя на технологический уровень процесса, в нашем случае, бурения.

Кодированное значение каждого показателя технологических составляющих (T, H, I, O) может колеблется от 0 до 1. Оно может близится к 0, но никогда не должно быть равным с 0, потому что, абслютно невозможного не бывает. Этот показатель может стремится к 1, но никогда не может быть равен с 1, потому, что абслютной простоты абсолютного совершенствования не бывают.

$\beta_t + \beta_h + \beta_i + \beta_o = 1$

В общем случае 0≤ КУТ ≤1 и в любом случае возрастание значения КУТ означает совершествование (улучшение) технологии.

Основная часть исследований

Согласно разработанной методике нами были сообраны данные экспертных оценок найболее высококвалифицированных, известных и опытных исследователей и представителей буровой службы Монголии. Была дана оценка технологического уровня буровых работ ГРП Эрдэнэтского горно-обогатительного комбината и сделано сравнение с усредненным технологическим уровнем как национальных, так и зарубежных буровых компаний, работающих в Монголии (*таблица-1*) (Цэвээнжав, 2015). Здесь интенсивность влияния каждого показателя на технологический уровень выбраны для условий Монголии в следующих пределах:

> β_t=0,50 - интенсивность влияния совершенства буровых инструментов и оборудований на технологический уровень;

> βh=0,25 - интенсивность влияния человеческих факторов на технологический уровень;

βі=0,10 - интенсивность влияния информативности на технологический уровень;

β₀=0,15 - интенсивность влияния менеджмента на технологический уровень.

Выводы и заключения

На основании проведенных исследований нами сделаны следующие выводы и заключения:

- Технологический уровень буровых работ Эрдэнэтского ГОКа КУТ=0,6985, что означает удовлетворительный и выше средного показателя отрасли (КУТ=0,6298), но ниже чем зарубежных компаний (КУТ=0,7802), работающих в Монголии.
- Для уточнения технологического уровня буровых организаций необходимо иметь стандарт технологии бурения различными способами.
- В дальнейшем необходимо усовершенствовать методику оценки технологического уровня любого вида производственных процессов, в том числе бурения.

Литература

- Отгонцэцэг, Л. Технологический менеджмент. УБ, 2009, 560с.
- Цэвээнжав, Ж., Д. Тувшинбаяр. Исследование, оценка и типизация геолого-технических условий бурения медно-молибденовых и медно-золоторудных месторождений Монголии. *Журналь "Разведчик"*. №2/45, 2011. - 19-24 (на монгольском языке).
- Цэвээнжав, Ж. Актуальные вопросы технологического менеджмента буровых работ. Журналь "Разведчик", №53, 2015. 235-251.

Эта статья была рецензирована доц. д-р В. Златанова.

	KYT)	- Национальные Н	0,4181	0,4715	0,4564	0,7031	0,5144	0,9240	0,5703	0,8620	0,4600	0,9191	0,6298
	ая оценка (зарубежные	0,5756	0,5044	0,8893	0,8127	0,7998	0,9740	0,7790	0,9089	0,6886	0,8700	0,7802
	Обш	тенедqЄ ПЯЛ	0,5112	0,5013	0,6063	0,7122	0,6969	0,9520	0,6670	0,8821	0,5652	0,8913	0,6985
ma)	уровень, (О)	эннапьноирьН	0,50	0,50	0,50	0,85	08'0	06'0	0,70	0,95	0,85	12'0	
го комбина	ационный	зарубежные	06'0	0,10	06'0	0,95	08'0	1,0	0,80	0,95	06'0	0,89	
ительног	Организ	тенедqЄ ПЧТ	0,60	0,45	0,68	0,83	0,80	0,88	0,76	0,86	0,82	0,61	
рно-обагат	оовень, (I)	ыанапьноиµьН	0,30	1,0	0,80	06'0	09'0	1,0	0'40	0,65	02'0	0,45	ка технологического уровня
<u>іэтского гор</u>	ационный уן	Зарубежные	0,80	0,10	0'80	06'0	0'80	06'0	0,40	0'10	09'0	0,92	
ГРП Эрдэ,	Инфори	тенедqЄ ПРТ	0,50	0,98	0,80	06'0	0,65	0,96	0,50	0,65	0,43	053	
a npumepe	ень, (Н)	национальные	0,30	0,30	0,80	0,50	09'0	06'0	0,75	0,80	0,50	0,55	
урения (на	аый урове	зарубежные	0,80	0,80	06'0	0,50	0,80	1,00	0,95	06'0	0,60	0,88	бщая оцен
уровня б	Кадрс	тенедqЄ ПЯЛ	0,30	0,32	0,81	0,50	0,62	0,85	0,78	0,82	0,50	0,56	ŏ
<i>гического</i> ровень,	/ровень,	<u> Эанальноира</u> Н	0,50	0,50	0,30	0,75	0,40	06'0	0,50	0,92	0,40	0,62	
техноло	ический) (T)	зарубежные	0,80	06'0	06'0	0,99	0,80	1,0	0,80	0,95	0,70	0,85	
и оценки	Техн	тенедде ПЯТ	0,52	0,56	0,40	0,78	0,50	0,92	0,55	0,93	0,45	0,68	
Таблица 1 Показатели		код эксперта	001	002	003	004	005	900	200	008	600	010	