ГОДИШНИК

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

Том 57

Свитък I: Геология и геофизика

ANNUAL

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

Volume 57 Part I: Geology and Geophysics



Издателска къща "Св. Иван Рилски" Publishing House "St. Ivan Rilski" София, 2014 Sofia, 2014

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Павел Павлов – главен редактор доц. 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 Кристияна Пенкова – 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

Димитър Синьовски	Картиране по късове (Lesestein) в района на полевата учебна база в с. Лютиброд, Врачанско	7
Димитър Синьовски	Потенциалът на Северна Рила като геопарк	13
Георги Айданлийски	Характеристика на архитектурно-елементните единици в разрезите на Петроханската теригенна група в част от западна Стара планина. І. Руслови комплекси	19
Георги Айданлийски	Параметри на архитектурно-елементния анализ на алувиално- доминирани континентални седиментни последователности	25
Бануш Банушев	Петроложка характеристика на хипоабисалните магматити в района на Върбишка Стара планина	31
Венелин Желев Борис Вълчев	Геоложки феномени в района на Созопол и Черноморец – състояние и перспективи	39
Борис Вълчев Венелин Желев Стоян Танациев	Геоложкият феномен "Слонът" при с. Долни Коритен, Кюстендилска област	47
Янко Герджиков Диан Вангелов Анна Лазарова	Метабазити от най-северните части на високометаморфния разрез на Централна Средна гора, България	53
Ефросима Занева- Добранова	Природен газ в слабопроницаеми теригенни формации (Tight gas)	59
Ефросима Занева- Добранова Гергана Мерачева	Природни резервоари в източната част на Южносакарското понижение	65
КалинРусков Станислав Стойков	Описание на геоложките рискове за района на град София като част от проекта ПАНГЕО	71
Димитър Петров	Лазерна "Раман" спектроскопия на англезит и кубанит от находище "Челопеч"	77

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

Стефан Димовски	Електротомографско картиране на земната основа на	83
Николай Стоянов	алтернативни площадки за изграждане на нова енергийна	
Стефчо Стойнев	мощност в АЕЦ Козлодуй	
Миглена Янкова		

Стефан Димовски Николай Стоянов Християн Цанков Атанас Кисьов	Комплексен геофизичен подход за локализиране на водопропускливи зони в земнонасипна стена на повърхностен водоем	89
Иван Парушев Бойко Рангелов	Общи принципи на кинематичните модели използвани при системите за ранно предупреждение – земетресения и цунами (на примера на Венеция)	95
Бойко Рангелов Христиан Цанков Цветан Груев	Геофизичен комплекс за изучаване на повърхностния геоложки разрез в района на земетресението при град Перник от 22 май 2012 г.	101
Ради Радичев Емил Михайлов Атанас Кисьов	Използване на електронните нивелири и статичните гравиметри при измерванията на високоточната нивелация I и II клас на Република България	106
Ради Радичев Емил Михайлов	Локализиране на разломи в Струмската сеизмична зона по резултати от гравиметрични и нивелачни измервания	110
Николай Тонев Стоянов	Регионален 3D модел на хидрогеоложките условия в района на Мини "Перник" след прекратяване на подземния въгледобив	115
Николай Тонев Стоянов	Прогнозиране на възможното покачване на подземните води в засегнатите от минната дейност квартали на град Перник	121
Румяна Кънчева Деница Борисова Георги Георгиев	Връзка на развитието и спектралните характеристики на растителност с екологичните условия	127
Деница Борисова Бануш Банушев Дойно Петков Валентин Атанасов	Теренни спектрометрични измервания на скали в комплексните наблюдения на земята	133
Добромир Нецов	Перспективи за наклонено-насочено сондиране в находищата на въглеводороди в България	137

CONTENTS

Р	art 1 – Geology, Mineralogy and Mineral Deposits	
Dimitar Sinnyovsky	Mapping based on particles (Lesestein) in the area of the field training campus in Lyutibrod village, Vratsa district	7
Dimitar Sinnyovsky	The geopark potential of North Rila mountain	13
George Ajdanlijsky	Architectural-element unit characteristics of the Petrohan Terrigenous Group sections in part of Western Stara Planina mountain. I. Channel complexes	19
George Ajdanlijsky	Architectural-element analysis parameters in fluvial-dominated continental sedimentary successions	25
Banush Banushev	Петроложка характеристика на хипоабисалните магматити в района на Върбишка Стара планина Petrologic characteristics of the hypabyssal magmatites from the region of Varbitsa Stara Planina mountain (Balkan mountain)	31
Venelin Jelev Boris Valchev	Geological phenomena in the area of Sozopol and Chernomorets towns - status and perspectives	39
Boris Valchev Venelin Jelev Stoyan Tanatsiev	"The Elephant" geological phenomenon near Dolni Koriten village, Kyustendil district	47
lanko Gerdjikov Dian Vangelov Anna Lazarova	Metabasites from the Northernmost parts of the high-grade metamorphite section of Central Sredna gora, Bulgaria	53
Efrosima Zaneva- Dobranova	Natural gas from low permeable terrigenous formations (Tight gas)	59
Efrosima Zaneva- Dobranova Gergana Meracheva	Hydrocarbon reservoir systems of the East part of the South Sakar depression	65
Kalin Ruskov Stanislav Stoykov	Geohazard description for Sofia in the frame of the PANGEO project	71
Dimitar Petrov	Laser "Raman" spectroscopy of anglesite and cubanite from deposit "Chelopech"	77

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

Stefan Dimovski	Application of electrical tomography for mapping the near surface	83
Nikolay Stoyanov	section of several alternative sites for construction of a new energy	
Stefcho Stoynev	facility at the Kozloduy NPP	
Miglena Yankova		

Stefan Dimovski Nikolay Stoyanov Hristian Tsankov Atanas Kisyov	An integrated geophysical approach for locating water-permeable zones in the embankment wall of a surface water body	89
Ivan Parushev Boyko Ranguelov	Geeneral principles of the kinematic models used in early warning systems – earthquakes and tsunamis (Venice case)	95
Boyko Ranguelov Christian Tzankov Tsvetan Gruev	Geophysical complex study of the shallow geology in the area of Pernik earthquake 22 nd May, 2012	101
Radi Radichev Emil Mihaylov Atanas Kisyov	Use of electronic level gauges and static gravimeters when measuring high accuracy leveling class I and II of the Republic Bulgaria	106
Radi Radichev Emil Mihaylov	Locating faults in Strumska seismic zone by gravimetric and level measurement	110
Nikolay Tonev Stoyanov	Regional 3D model of the hydrogeological conditions in the Pernik Mines area after termination of underground coal mining	115
Nikolay Tonev Stoyanov	Forecasting a possible groundwater rise in the affected by the coal mining areas in the city of Pernik	121
Rumiana Kancheva Denitsa Borisova Georgi Georgiev	Relating plant growth and spectral response to ecological factors	127
Denitsa Borisova Banush Banushev Doyno Petkov Valentin Atanassov	Field spectroscopy measurements of rocks in earth observations	133
Dobromir Netsov	Perspectives for directional drilling in hydrocarbon fields in Bulgaria	137

КАРТИРАНЕ ПО КЪСОВЕ (LESESTEIN) В РАЙОНА НА ПОЛЕВАТА УЧЕБНА БАЗА В С. ЛЮТИБРОД, ВРАЧАНСКО

Димитър Синьовски

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

РЕЗЮМЕ. Картирането по късове е метод, който се използва широко при закрити терени. В немската литература за него има специален термин – "Lesestein". Той позволява прекарването на геоложки граници по късове от коренните скали, които се запазват в делувия след тяхното изветряне. Това може да са просто късове от самите скали или характерни устойчиви елементи на скалите като конкреции, фосили или минерали. Настоящата статия е посветена на един проблем, който не е засегнат в гида за геоложките практики в района. В нея се разглежда използването на преотложени конкреции от Сумерската свита (Апт) в горнокредните пясъчници, маркиращи къснокредната трансгресия в Западния Предбалкан. Базалният конгломерат в основата на тези пясъчници е изграден от полирани ръждиво-кафяви фосфоритово-хематитни конкреции, които са много характерен и лесно разпознаваем репер. При изветрянето на базалния конгломерат те изпълват делувива и остожения в закартите участъци, като указват нивата под границата между долната и Горната Креда в района, който се възприема лесно и се запаметява траница между Долната и Горната Креда в района, който се възприема лесно и се запаметява траниото от судентите.

MAPPING BASED ON PARTICLES (LESESTEIN) IN THE AREA OF THE FIELD TRAINING CAMPUS IN LYUTIBROD VILLAGE, VRATSA DISTRICT

Dimitar Sinnyovsky

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

ABSTRACT. Mapping based on particles is a method, used widely in covered terrains. In German literature, for it has a special term – "Lesestein". It allows identification of the geological boundaries based on particles of indigenous rocks, which are stored in deluvial deposits after their weathering. These may be just pieces of the rocks or persistent characteristic elements of rock as concretions, fossils or minerals. This article is devoted to a problem that is not addressed in the guide for geological training in the area. It examines the use of reworked concretions of the Sumer Formation (Aptian) in the Upper Cretaceous sandstones marking the Late Cretaceous transgression in the Western Balkan. The basal conglomerate at the base of these sandstones is composed of polished rusty-brown phosphorite-hematite nodules that are very distinctive and easily recognizable marker. During the weathering of the basal conglomerate they fill deluvial deposits in covered areas, giving levels below the boundary between the Aptian and Campanian-Maastrichtian sandstone. The long years of training in geological mapping in the area, which is easily perceived and stored permanently by students.

Въведение

Картирането по късове е широко използван метод за установяване на геоложки граници и оконтурване на геоложки единици в закрити терени. В немската литература за тази дейност е въведен специален термин -"Lesestein" ("лезещайн"), който в буквален превод означава "четен камък" или "четене по камъни". В английската литература също има подобен термин "reading stone", но той идва по-скоро от превода на немския термин. Преди да навлезе в геологията, терминът се използва разговорно за характеризиране на физикомеханичните качества на скални късове, използвани в миналото в селските райони за строеж на къщи, навеси и заслони. В Северна Германия, където в равнинните терени няма никакви коренни скали, ледниковите отложения под формата на моренни чакъли, наричани разговорно "Feldstein", са били единственият източник на строителен материл от древността до днес. Така той е наложен в строителството като "полеви камък" - естествен камък за строителни нужди

и по-малко в геоморфологията в смисъла на "Lesestein". Въпреки различното си значение, терминът "лезещайн" навлиза в геологията и започва да се използва за картиране по късове, което се прилага успешно в различни терени. Този метод позволява прекарването на геоложки граници по късове от коренните скали, които се запазват в делувия след тяхното изветряне. Това може да са просто късове от самите скали или характерни устойчиви елементи като конкреции, фосили или минерали. Този метод е застъпен и в практиката по геоложко картиране на студентите от Геологопроучвателния факултет, която се провежда на учебния полигон в с. Лютиброд вече над четири десетилетия. За улеснение на студентите и преподавателите бе издаден гид за геоложките практики (Синьовски, ред., 2004а), в който обаче този проблем не е засегнат. Настоящата статия е посветена на картирането по късове в района на с. Челопек, където теренът е доста закрит и не позволява извършването на директни полеви наблюдения.

Състояние на проблема

В последните три-четири десетилетия, вследствие на селското обезлюдяване, районът на практиката около с. Лютиброд бе значително затревен и повечето от традиционните разкрития, използвани като ключови при учебните практики, вече са почти закрити. От фотографията на Ритлите, направена от Златарски (1904) личи, че в началото на 20-ти век около тях не е имало нито едно дърво (фиг. 1), а сега те едва се забелязват сред буйната горска растителност (фиг. 2). Около с. Челопек, където тогава е имало непрекъснати разкрития на горнокредно-палеоценските варовици, сега са останали само отделни фрагменти. Всъщност добрата разкритост се запазва до втората половина на двадесети век, което личи добре на аерофотоснимките от 1970 г. През следващите 40 години горската растителност превзема склоновете на дола Трескавец и разкритията на Сумерската и Романската свита се ограничават до изкуствените откоси около шосето за Враца. Разкритията на горнокреднопалеоценските варовици се запазват главно около кота 544,2 Голата глава. Почти закрито е и класическото разкритие на Franz Toula (1881) в южния край на с. Челопек (фиг. 3), което е с историческа стойност за българската геология (Синьовски и др., 2004). Тук сред глауконитните пясъчници и иноцерамусните варовици в основата на Горната Креда, Toula определя първите горнокредни фосили в България. За да се придобие представа за скоростта на естественото обрастване трябва да се отбележи, че това разкритие бе изцяло разчистено при ремонта на пътното платно на шосето преди 25 години.

От направения дотук анализ става ясно, че за малко повече от сто години, този идеално разкрит терен се превръща в гориста местност и обработваема площ. Въпреки че аерофотоснимките от седемдесетте години позволяват сравнително добро проследяване на границите, теренните наблюдения се извършват в условията на пълна закритост и изискват косвени методи за картиране. Такива условия за картиране на трансгресивната граница в основата на горнокредните наслаги осигуряват преотложените фосфоритово-хематитни конкреции от Сумерската свита в базалния слой на Дърманската свита, от чието изветряне се получава масово набогатяване на делувиалните наслаги.



Фиг. 1. Първата фотография на скалния феномен "Ритлите", публикувана от Златарски (1904), на която се вижда пълното отсъствие на растителност около тях и значително по-високото ниво на р. Искър, което е достигало почти до основата им. На заден план са долът Трескавец и Голата глава



Фиг. 2. Сто и десет години след снимката на Златарски (1904) Ритлите са потънали в горска растителнист

Приложението на метода "Lesestein"

Картирането по късове обхваща доста широка площ от над 10 km² между с. Челопек, кота Голата глава и долината на р. Каменица. То е свързано с очертаването на трансгресивната граница между горнокредно-палеоценските отложения и тяхната подложка, представена от



Фиг. 3. Само 25 години след разширението на пътя разкритието на Franz Toula (1881) е напълно затревено

дебелопластовите аптски пясъчници на Романската свита (фиг. 4, 5). Трансгресивните наслаги в основата на горнокредния разрез, представени от глауконитните пясъчници на Дърманската свита и иноцерамусните варовици на Кунинската свита с обща дебелина до 7-8 m (фиг. 4) не са картируемо тяло. Въпреки това те представляват надежден маркиращ хоризонт, който се проследява



Фиг. 4. Схематичен разрез на горнокредно-палеоценските отложения в района на с. Челопек и разпространението на фосфоритово-хематитните конкреции в делувия, което индикира долнокредна подложка



Фиг. 5. Геоложка карта на района: 1-3 Кватернер, Холоцен (1 – делувий, 2 – алувий, 3 – колувий): чакъли, брекчи, пясъци и глини; 4 – "Мездренска свита" (Мастрихт – Среден Палеоцен): микритни варовици с кремъчни конкреции, калкаренити; 5 - Дърманска + Кунинска свита (Кампан – Мастрихт): глауконитни пясъчници и иноцерамусни варовици; 6 - Романска свита (Среден – Горен Апт): дебелопластови пясъчници с прослойки от алевролити, мергели и аргилити; 7 – Сумерска свита (Долен-Среден Апт): мергели; 8 – Лютибродска свита (Барем – Долен Апт): биодетритусни, черупчести и оолитни варовици, песъчливи и орбитолинни варовици, варовити пясъчници, алевролити, мергели и смесени скали; 11 – Гложенска свита (Титон): тъмносиви до черни варовици; 9 – Черепишка свита (Титон-Хотрив): светлосиви до бежови биодетритусни варивици от ургонски тип с черупки от рудисти; 10 – Гложенска свита (Титон): тъмносиви микритни варовици; 11 – разломи: (а) възсед, (b) разсед; 12 – литостратиграфска граница; 13 – речна мрежа; 14 – шосе



Фиг. 6. Районът на с. Челопек се характеризира с лоша разкритост и не позволява извършването на директни полеви наблюдения

на километри и на картата в М 1:25 000 е изобразен условно под формата на тънка ивица с индекс К₂ср-т (фиг. 5). Основният критерий за присъствието на маркиращия хоризонт е базалният конгломерат в основата му, изграден от преотложени, полирани, ръждивокафяви фосфоритовохематитни конкреции от Сумерската и Романската свита (фиг. 4, 7). За съжаление разкритията на този конгломерат вече не съществуват. Поради слабото сцепление и малката дебелина глауконитните пясъчници не образуват устойчиви разкрития и бързо се покриват с делувий, който погребва и самия конгломератов слой. Тези пясъчници са запазени само в три разкрития - разкритието на Toula на завоя на шосето южно от с. Челопек (фиг. 3), на 800 m източно при оброчния кръст "Св. Петър" и при извора на р. Каменица на 800 m североизточно от селото. Останалите разкрития са по р. Каменица – на 1,5 km южно от с. Моравица, при водопада и в местността Драгавец (Синьовски, 2004б).

Ядчестите иноцерамусни варовици на Кунинската свита са по-устойчиви и образуват хоризонтални козирки над глауконитните пясъчници, които се разрушават под формата на огромни блокове по пукнатини, образувани в спойката между карбонатните ядки. Подобни срутища има по р. Каменица, където те оформят прагове и водопади. В повечето случаи обаче, горната им повърхност образува плоски участъци, които се покриват по-трудно с делувиални наслаги и все още се срещат като островчета сред затревените полета. Поради пренебрежимо малката за мащаба дебелина на Дърманската и Кунинската свита, по тези оскъдни разкрития границата им с Романската свита може да се картира в ливадите и нивите североизточно от с. Челопек. С това потенциалът на разкритията за проследяването на тази граница се изчерпва. Районът на с. Челопек се характеризира с лоша разкритост и не позволява извършването на директни полеви наблюдения (фиг. 6).

Използването на метода "Lesestein" датира от самото начало на провеждането на студентските практики в с. Лютиброд. Основната характеристика на делувиалните отложения в района между с. Челопек и Голата глава е изобилието от варовикови късове и фрагменти от кремъчни конкреции от "Мездренската свита", които се срещат както в делувия над нея, така и по склоновете върху пясъчниците на Романската свита. Следователно те не са надежден критерий за характера на коренните скали. Преотложените фосфоритови конкреции от базалния конгломерат, обаче, са навсякъде в делувия под трансгресивната граница. Те са образувани първично в мергелите на Сумерската свита и се срещат често в оскъдните й разкрития по дола Трескавец и покрай шосето от с. Челопек за връх Околчица. Тук те са свежи и външната им повърхност е светложълтокафява с цвят на охра (фиг. 8), докато в базалния конгломерат те са тъмнокафяви и полирани до блясък (фиг. 9). Този вид конкрециите са придобили преди повече от 70 млн. г. при обработката във вълноприбойната зона на къснокампанското море, което трансгредира върху мергелите на Сумерската свита и пясъчниците на Романската свита. Като устойчиви елементи от подлож-

Това е един универсален прагматичен подход, който дава възможност на студентите да си изградят надеждни

ката, те се натрупват на плажа и остават в основата на трансгресивните глауконитни пясъчници на Дърманската свита под формата на базален конгломерат. Разрушаването на този 10-20 сантиметров конгломератов слой дава невероятно голямо количество материал, разпръснат в нивите и ливадите над Романската свита и липсващ в делувия над "Мездренската свита" (фиг. 9).



Фиг. 7. Базалният конгломерат в основата на глауконитните пясъчници на Дърманската свита, изграден от преотложени полирани ръждивокафяви фосфоритово-хематитни конкреции от Сумерската свита



Фиг. 8. Фосфоритово-хематитните конкреции в първичното си положение сред мергелите на Сумерската свита



Фиг. 9. Преотложените фосфоритово-хематитни конкреции от базалния конгломерат, разпръснати в делувия над трансгресивната граница

полеви критерии за експресно решаване на проблемите в закрити терени. Нещо повече, присъствието на коренните

за фосфоритово-хематитните конкреции скали – мергелите на Сумерската свита, осигурява допълнителни възможности за интерпретация на последователността на геоложките събития във времето и извеждане на добре обосновани палеогеографски изводи.

Заключение

Картирането по късове се прилага при всяка картировка, независимо дали геолозите използват термина "лезещайн" или не. В настоящата статия е разгледан един конкретен вариант, в който се преплитат образователни и професионални критерии. В случая полираните фосфоритово-хематитни конкреции, преотложени в базалния конгломерат на Дърманската свита, играят ролята на един много показателен и дори "преекспониран" от природата пример за картиране по късове в закрити терени с високо практическо и образователно значение. Това е случай, който заслужава внимание не само като илюстрация на добра полева практика за картиране, но и като интерпретативен пример, който може да залегне в плана за развитие на Геопарк "Искърски пролом" или "Врачански природен парк Балкан". Тъй като разработването на "Искърски пролом" е в застой, пореално е да се включи в предстояшите мероприятия на природен парк "Врачански Балкан", в чиято периферия попада площта. Тази инициатива може да се обвърже и с предстоящите проекти на община Мездра за проучване на нови обекти с историческа, културна и екологична стойност в района, след успешното разработване на археологическия обект "Калето".

Литература

- Златарски, Г. 1904. Принос към геологията на Искърския пролом от София до Роман и съседните му предели. -*Труд. Бълг. природоизп. д-во, II;* 12-102.
- Синьовски, Д. (Ред.) 2004а. Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом. Гид за геоложки практики. С., МОН, Център КСОУВО, Изд. "В. Недков", 136 с.
- Синьовски, Д. 2004б. Маршрут VI. Моравица Дърманци. В: Синьовски, Д. (Ред.) Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом. Гид за геоложки практики. С., МОН, Център КСОУВО, Изд. "В. Недков", 68-89.
- Синьовски, Д., М. Антонов, В. Желев, Г. Айданлийски, Д. Вангелов, К. Стойкова. 2004. Маршрут III. Лютиброд – Челопек. В: Синьовски, Д. (Ред.) Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом. Гид за геоложки практики. С., МОН, Център КСОУВО, Изд. "В. Недков", 43-50.
- Toula, Fr. 1878. Geologische Untersuchungen im westlichen Theile des Balkan und in den angrenzenden Gebieten. 6. Ein geologischen Profil von Vraca an den Iskar und durch Iskar- Schluchten nach Sofia. – Sitzungsber. Acad. Wiss. Wien, Math.- Naturwiss. Cl., Abt. 1, 77; 247-317.

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

ПОТЕНЦИАЛЪТ НА СЕВЕРНА РИЛА КАТО ГЕОПАРК

Димитър Синьовски

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

РЕЗЮМЕ. Рила и Пирин са сред най-високите и красиви планини в Източна Европа. На територията и на двете има национални паркове, като Национален парк "Пирин" отдавна е в Листата на Световното наследство на ЮНЕСКО. Национален парк "Рила" все още не е предлаган за включване в листата, но природен парк "Рила", включва обект на ЮНЕСКО – Рилския манастир", който в миналото бе част от Национален парк "Рила", включва обект на ЮНЕСКО – Рилския манастир. Напоследък новата категория "Геопарк" се разработва широко в много страни на Европа и света. От икономическа гледна точка тя се оказа доста по-витална от природните и националните паркове с техните консервативни и рестриктивни режими. Тя не налага нови ограничителни мерки от гледна точка на развитието на териториите. Основната цел на Геопарка е да опазва, изучава и популяризира геоложкото наследство на даден регион, като развива и укрепва връзките му с всички други аспекти на природното, културното и историческо наследство. От тази гледна точка Северна Рила е изключително подходяща за разработване на Геопарк, който да обедини геоловското паследство на самоковско с културните и исторически ценности на региона и да допринесе за устойчивото местно развитие. От гледна точка на георазнобразието потенциалът на района е огромен. Той включва най-високия връх в Източна Европа – Мусала и се характеризира с красиви ледникови образувания - алпийски върхове, ледникови долини, циркуси, езера и морени. Районът се характеризира с козсночителни, магменти и метаморфни разновидности, както и десетки минерални извори, най-забележитениято то които е гейзерът в Сапарева баня. Това са добри предпоставки за разработването на един нов национален геопарк, който да обдели посихона на пориродение са изключително потенциалът на районае огромен. Той включва най-високия връх в Източна Европа – Мусала и се характеризира с красиви ледникови образувания - алпийски върхове, ледникови долини, циркуси, езера и морени. Районът се характеризира с изключително богата гама от седиментни, магмени и метаморфни р

THE GEOPARK POTENTIAL OF NORTH RILA MOUNTAIN

Dimitar Sinnyovsky

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

ABSTRACT. Rila and Pirin are among the highest and beautiful mountains in Eastern Europe. On their territory are situated National parks and Pirin National Park is in the UNESCO World Heritage List for a long time. National Park "Rila" is not yet available for inclusion in the list, but "Rila Monastery" Natural Park, which in the past was part of the National Park "Rila" includes a UNESCO site - Rila Monastery. Recently, the new category "Geopark" is widely developed in many countries of Europe and the world. In economic terms, this category was proved to be more vital than the natural and national parks with their conservative and restrictive regimes. It does not impose new restrictive measures in view of the development of the territories. The main objective of the Geopark is to preserve, study and promote geological heritage of a region, develop and strengthen its relations with all other aspects of the natural, cultural and historical heritage. From this point of view, North Rila is very suitable for the development of Geopark, which will unite the geological heritage of Samokov district with its cultural and historical values and will contribute to sustainable local development. In terms of geodiversity the potential of the region is enormous. It includes the highest peak in Eastern Europe - Musala and beautiful ice formations such as the alpine peaks, glacial valleys, cirques, lakes and moraines. The area is characterized by a wide variety of sedimentary, igneous and metamorphic types, and dozens of mineral springs, the most remarkable of which is the geyser in Separeva Banya. These are good conditions for the development of a new national geopark, to be proposed for inclusion in the European Geoparks Network as UNESCO Geopark.

Въведение

Рила и Пирин са сред най-високите и красиви планини в Източна Европа. На територията и на двете има национални паркове, а този в Пирин отдавна е в Листата на Световното наследство на ЮНЕСКО. Национален парк "Рила" все още не е предлаган за включване в листата, но природен парк "Рилски манастир", който в миналото бе част от Национален парк "Рила", включва обект на ЮНЕСКО – Рилския манастир, който посреща един милион посетители годишно. През последните 15 години новата категория защитена територия - "Геопарк" завзе обширни територии в Европа и света. Въпреки че в нито една страна геопаркът не е храненик на бюджета както природните и националните паркове, той завоюва правото си на съществуване и се утвърди в световен мащаб. Европейската мрежа от геопаркове включва вече 59 геопарка на ЮНЕСКО, а броят им в Китай за 10 години достигна 27. Този лавинообразен процес ще продължи и в бъдеще, защото от икономическа гледна точка тази категория защитена територия се оказа доста по-витална от природните и националните паркове с техните консервативни и рестриктивни режими. Тя не изисква специални нормативни документи и не налага нови ограничителни мерки от гледна точка на развитието на териториите. Основната цел на Геопарка е да опазва, изучава и популяризира геоложкото наследство на даден регион, като развива и укрепва връзките му с всички други аспекти на природното, културното и историческо наследство. Геопаркът не е специфично нова категория защитена площ или ландшафт и може да бъде доста различен от един напълно зашитен и регулиран Национален парк или Природен парк (Guidelines and Criteria for National Geoparks, 2007). Определянето на дадена територия като "Геопарк" не означава промяна в законовия статут на земята. Отговорното управление на един Геопарк осигурява защитата на геоложкото наследство на Геопарка в съответствие с местните традиции и законова основа и насърчава социалноикономическото развитие на региона чрез геотуризъм, без допълнителни ограничения налага да върху традиционните дейности, извършвани на територията на парка. Това прави геопарковете атрактивни за местните общности, които в много бедни региони виждат в разработването им като единствения начин за съживяване на местната икономика и постигане на устойчиво местно развитие.

В България геопарковете засега имат само фиктивно присъствие, въпреки че страната бе една от първите, които направиха научна разработка на Национален геопарк в рамките на Регистъра и кадастъра на геоложките феномени в България. Тя бе редставена на Третата конференция на Европейската мрежа от геопаркове през 2002 г. (Jelev et al., 2002). Въпреки че бяхме сред първите, националните усилия в тази насока се реализират бавно и трудно. Понастоящем най-близо до Европейската мрежа са Белоградчишките скали, за които вече има очертана територия с пет общини, съгласие на местната общност, научно описание на 50 геотопа и разработен план за развитие на парка. От другите потенциални обекти като Побитите камъни, Мелнишките пирамиди, Рила, Пирин, Витоша и др., единствено за Рила има местна инициатива, която засега се подкрепя поне от две общини – Самоков и Сапарева баня. Тази инициатива може да се разработи много бързо, тъй като Рила има огромен потенциал за създаване на Геопарк. В настоящата статия се разглеждат геоложките предпоставки за разработването на Геопарк в Северна Рила, който няма да съвпада с границите на национален парк "Рила" и природен парк "Рилски манастир", а ще включва части от тях и една много поширока територия на север от Рила.

Георазнообразие

От стратиграфска гледна точка георазнообразието на района не е впечатляващо, но той се отличава с изключително богата гама от магмени и метаморфни скали. Тук се разкриват разнообразни докамбрийски метаморфни комплекси, които са представени от почти всички метаморфни разновидности.

За описанието на метаморфните единици в настоящата статия е възприет принципът, препоръчан от Хрисчев и др. (2005) за терминологията и номенклатурата на неслоестите литостратиграфски единици при геоложкото картиране в М 1:50 000 в Западния Балкан. По този начин ще се съхранят имената на повечето метаморфни единици които са въведени като имена на литостратиграфски единици. Те ще бъдат използвани за наименуване на метаморфните комплекси, по примера на обяснителната записка на картен лист Ваксево от Геоложката карта на Република България в М 1:50 000 (Милованов и др., 2008). Същевременно ще се избегне неудобството да се идентифицират наново старите единици като отделни метаморфни тела в рамките на новоотделените литотектонски единици (Саров и др., 2011 а,б).

Смята се, че най-старите скали в района са докамбрийските двуслюдени гнайси и плагиогнайси на Малешевската група (Загорчев, 1984) и мигматизираните гнайси и мигматити на Огражденската (Прародопска) надгрупа (Kozhoukharov, 1988), които по-късно са поделени на метаморфни комплекси и литотектонски единици -Тросковски метаморфен комплекс (Милованов и др., 2008): амфиболити и амфиболови шисти, двуслюдени и биотитови гнайси. Малешевски метаморфен комплекс (Милованов и др., 2009): двуслюдени гнайси и плагиогнайси, Плански гнайсов комплекс (Антонов и др., 2011 а,б): двуслюдени гнайси и мигматити, Огражденска литотектонска единица (мигматизирани биотитови и двуслюдени гнайси, метагабра, серпентинизирани ултрабазити), Мальовишка литотектонска единица (Саров и др., 2011 а,б): серпентинизирани ултрабазити, амфиболити, биотитови и амфибол-биотитови гнайси, мрамори и гранат-кианитови слюдени шисти. Тракийска литотектонска единица (Саров и др., 2011 а,б): аплитоидни биотитови метагранити, амфиболити (метагабра) и мрамори, които се разкриват между Горна Диканя, Благоевград, Сапарева баня, Говедарци, Белчин, Бели искър и Боровец.



Фиг. 1. Разкритие на леща от гранат-кианитови слюдени шисти по източния бряг на езерото Бъбрека сред биотитови гнайси от Чепеларската свита на Рупчоския метаморфен комплекс

Родопската надгрупа (Кожухаров, 1984, Коzhoukharov, 1988), включва по-младите неопротерозойски метаморфити, отнесени първоначално към Рупчоската и Ситовската група. Скалите на тези групи са разгледани като Рупчоски метаморфен комплекс и Ситовски метаморфен комплекс (Sinnyovsky, 2014) по аналогия с другите нововъведени метаморфни комплекси при картировката на Република България в М 1:50 000 (Милованов и др., 2008; 2009).

Рупчоският метаморфен комплекс включва три свити (Кожухаров, 1984): Чепеларска, Богутевска и Въчанска. Чепеларската пъстра свита е представена от биотитови гнайси, гнайсошисти, лептинити, дистенови шисти, които се разкриват при Сапарева Баня, Рилския манастир, Седемте рилски езера (фиг. 1) и р. Манастирска. Към нея се отнасят и скарните по горното течение на р. Манастирска, както и гранатитите между Седемте рилски езера и Урдини езера. Богутевската плагиогнайсова свита е изградена от мигматизирани гнайси и гранитогнайси, разкриващи се предимно по р. Рилска и биотитплагиоклазови гнайси, разкриващи се северно от с. Бачево, Разложко. Въчанската пъстра свита е представена от биотитови гнайси, двуслюдени гнайси, гнайсошисти, лептинити, амфиболити и мрамори. Пределският метаморфен комплекс (Милованов и др., 2009), който първоначално е отнасян към Въчанската свита, се разкрива в района на Предела и е изграден от биотитови гнайси и гнайсошисти, аплитоидни биотитови и мусковитбиотитови гнайси. амфибол-биотитови гнайси. амфиболити, метаултрабазити и мрамори.

Ситовският метаморфен комплекс също включва три свити: Луковишка, Бойковска и Бачковска. Луковишката гнайсошистова свита е представена от биотитови и двуслюдени гнайси и гнайсошисти, разкриващи се северно от Долна баня и ЮИ от гр. Костенец и с. Костенец. Покъсно скалите са описани като част от Тракийската литотектонска единица (Саров и др., 2011 а,б): биотитови и двуслюдени гнайси, мусковит-албитови гнайси и гнайсошисти, мрамори, калкошисти и амфиболити.

Бойковската гнайсова свита е изградена от биотитови и двуслюдени гнайси, разкриващи се източно от гр. Костенец и описани по-късно като част от Тракийската литотектонска единица (Саров и др., 2011 а,б).



Фиг. 2. Връх Мальовица (2729 m) е типичен пример за пирамидални алпийски върхове (карлинги), формирани от ледниковата дейност

Бачковската лептинитова свита се състои от аплитоидни биотитови и двуслюдени лептинити, разкриващи се северно от с. Радуил и източно от гр. Костенец, където покъсно са описани в рамките на Тракийската литотектонска единица (Саров и др., 2011, а,б) като мусковит-албитови гнайси и гнайсошисти (източно от гр. Костенец) и аплитоидни и биотитови метагранити (при с. Радуил).

Към Родопската надгрупа се отнася и т. нар. Добростанска свита, която е част от Асеновградската група (Кожухаров, 1984). Тя е изградена от мрамори с прослойки от биотитови и двуслюдени гнайсошисти.

Най-младите метаморфити са тези на Струмския диоритов комплекс (Неопротерозой), Празинитовия комплекс (Докамбрий-Камбрий) и Диабазово-филитоидния комплекс (Венд - Долен Палеозой). Струмският диоритов комплекс (Милованов и др., 2008) известен като "Струмска диоритова формация" е изграден от диорити, габро-диорити, габра, перидотити и оливинови пироксенити, разкриващи се при гр. Рила. Празинитовият комплекс (Антонов и др., 2011) отнасян преди към Диабазово-филитоидния комплекс, е изграден от метабазити и актинолитови шисти, разкриващи се между с. Ярлово и с. Железница. Диабазово-филитоидният комплекс, разкриващ се при гр. Дупница е изграден от филити и метадиабази.

Магмените скали също са много разнообразни, както по състав, така и по възраст. Например наставките на горнокредния Плански плутон включват цялата гама от магмени скали, които могат да се образуват в рамките на едно магмено тяло: левкократни амфибол-биотитови гранити (северно от с. Алино), кварцмонцодиорити (с. Радуил), амфибол-биотитови гранодиорити (северно от с. Алино и с. Рельово), диорити и кварцдиорити (с. Радуил), кварц-монцонити (между с. Ковачевци и с. Поповяне), габра, габродиорити и пироксенити (южно от с. Поповяне), монцонити и монцодиорити (северно от с. Рельово), кварцмонцодиорити (северно от с. Рельово), едрозърнести габра габро-пироксенити (с. Радуил), диоритови и кварцдиоритови и монцодиоритови порфирити (северно от с. Рельово), пегматоидни гранити (СИ от с. Ковачевци), пегматити (северно от с. Рельово).



Фиг. 3. Най-високият връх на Балканския полуостров Мусала (2925 m) се намира в северната част на Рила планина сред палеогенските биотитови гранити на Рило-Западнородопския батолит

Гранитоидите на Рилозападнородопския батолит, сред които е и вр. Мусала, бяха подмладени значитено при последните изследвания.

Първоначално те бяха отнасяни към къснопалеозойските южнобългарски гранитоиди. На картите в М 1:50 000 възрастта на батолита бе подмладена до Късна Креда – Еоцен (Саров и др., 2011 а,б). Той също включва доста богата гама от магмени разновидности като биотитови, мусковит-биотитови и амфибол-биотитови гранити, аплитоидно-пегматоидни гранити, порфирни гранити, мусковит-биотитови плагиогранити, порфирни и амфиболбиотитови гранодиорити, кварцдиорити и др.

Седиментните скали включват карбонски, триаски, горнокредни, олигоценски, плиоценски и кватернерни

отложения. Карбонските седименти са представени главно от теригенни разновидности, триаските са здрави кварцитизирани пясъчници, горнокредните са песъчливокарбонатни, олигоценските са предимно финозърнести, а сред плиоценските се срещат и въглища. Всъщност битуминозни прослойки има и сред карбонските и олигоценските отложения. Определен интерес представляват кватернерните отложения, част, от които носят информация за ледниковите епохи, а друга част образуват интересни изветрителни форми като "Стобските пирамиди".



Фиг. 4. Седемте рилски езера са една от най-атрактивните туристически дестинации в Рила (на снимката – Рибното езеро)

Геоморфоложки и културно-исторически предпоставки за създаване на Геопарк "Рила"

Рила е куполообразна блоково-разломна (хорстова) планина. Нейното геоложко развитие през Неозоя се предопределя от оформянето на блокови структури, които се запълват със седиментни скали.

Рила е алпийска планина с типични пирамидални алпийски върхове (карлинги) (фиг. 2) и класически ледникови форми: морени, циркуси, ледникови долини и езера. Една от най-атрактивните забележителности на Рила е най-високият връх на Балканите и Източна Европа – Мусала (2925 m) (фиг. 3), но от природните забележителности най-посещавани са Седемте рилски езера, които са една от най-атрактивните туристически дестинации в Рила (фиг. 4).

Безспорно една от ключовите думи за Рила е "вода". Водата в трите си агрегатни състояния е имала и продължава да има ключова роля за региона. В палеогеографски аспект геоморфоложкият облик на планината се дължи на кватернерните заледявания, последното, от които – Вюрмското (продължило между 70 000 и 11 700 години) предопредля облика на съвременния алпийски релеф. Най-красивите природни ландшафти в Рила са ледниковите долини (фиг. 5) и циркусите (фиг.6).

Понастоящем от Рила извират двете най-големи български реки – Искър и Марица, които се захранват от циркусо



Фиг. 5. Типична U-образна ледникова долина северно от вр. Мальовица



Фиг. 6. Циркусовите Маричини езера, намиращи се на югоизток от вр. Мусала, дават началото на една от най-големите български реки -Марица

-вите езера. Планината захранва с притоци и други две големи реки – Струма и Места. Третото агрегатно състояние – парата, предопределя облика на планината като балнеолечебна дестинация още от дълбока древност, предвид многото останки от римски терми. В околностите на Рила има над 70 минерални извори и един гейзер – в Сапарева баня, който със своите 101,4°С е един от найгорещите в света (фиг. 7).

В културно-исторически аспект на първо място са ковашките занаяти, с които е свързано и името на град Самоков. То произхожда от средновековните самокови, които са служели за обработка на желязото. Основният поминък на региона, който през 18-19 век е снабдявал с желязо цялата османска империя, има пряка връзка с геологията, тъй като суровината за ковашките занаяти е бил разсипният магнетит, добиван още от дълбока древност от речните пясъци на р. Искър. Изхождайки от тези основни предпоставки, при посещението си в Самоков и Сапарева баня, президентът на Югоизточната регионална група на Европейската асоциация за опазване на геоложкото наследство Александру Андрасану формулира мотото на бъдещия геопарк като "Земя на желязото и водата".

Изключително значение за културното и духовно наследство на района има Самоковската художествена школа, чиито най-изявен представител Захари Зограф (1810-1853) е най-знаменитият български иконописец.



Фиг. 7. Гейзерът в Сапарева баня с температура на водата 101,4 ° С е един от най-горещите в света



Фиг. 8. Рилският манастир е в Световната листа на културното наследство на ЮНЕСКО и ежегодно се посещава от над 1 милион туристи

Освен в Рилския манастир Захари Зограф работи в Бачковския, Преображенския и Троянския манастир, а също така и във Вликата Лавра в Света Гора. Не по-малко известен е и неговият по-голям брат и учител Димитър Зограф, както и неговите наследници Станислав Доспевски (Зафир Зограф), Никола Доспевски, Захарий Доспевски и Иван Доспевски, които също се занимавали с живопис.

Разбира се перлата на културното, историческо и духовно наследство в Рила е Рилският манастир, който е в Листата на Световното културно наследство (фиг. 8). Рилският манастир е най-притегателният туристически обект в България с над 1 милион посетители годишно. Той е основан през десети век от Св. Иван Рилски -Чудотворец, небесен закрилник и покровител на българския народ. Стените на манастира са изградени от речни късове и представляват истински музей на георазнообразието в западния дял на Рила планина (фиг. 9). В тях присъстват различни магмени и метаморфни скали. Магмените разновидности са представени главно от аплитоидно-пегматоидни гранити, мусковит-биотитови плагиогранити и средно- до дребнозърнести биотитови гранити от палеогенските тела на Рило-западнородопския батолит, разкриващи се по горното течение на р. Манастирска. По-рядко сред тях се срещат и късове от средно- до едрозърнести порфирни биотитови гранодиорити от по-старите наставки на същия плутон. Метаморфните късове са основната част от късовия състав в стените на манастира. Те са представени изключително от биотитови и амфибол-биотитови гнайси, както и от гнайсошисти, дистенови шисти, лептинити и калцифири от Чепеларската пъстра свита на Рупчоския метаморфен комплекс, разкриващи се в непосредствена близост нагоре по поречието на р. Манастирска. По-рядко в стените могат да се забележат и късове от амфиболити, амфиболови шисти, биотитови гнайси и мигматити от Тросковския метаморфен комплекс.



Фиг. 9. Стените на Рилския манастир са изградени от речни камъни и представляват истински музей на георазнообразието в Западна Рила

Защитени територии

По-голямата част от територията на планината принадлежи на Национален парк "Рила". Другата значима защитена територия в нея е природен парк "Рилски манастир" в който се намира най-знаковият за българската духовност манастир. Макар сега да са с различен статут, преди време тези паркове са били единна защитена територия в рамките на Народен парк Рила и Национален парк Рила. В рамките на тези защитени територии има помалки защитени площи с различен статут от типа на природни резервати и рамсарски места. Гранииците на бъдещия геопарк в никакъв случай не бива да се обвързват с границите на споменатите защитени територии. Съгласно Guidelines and Criteria for National Geoparks (2007) той трябва да обхваща достатъчно голяма площ, за да служи на местното икономическо и културно развитие. От тази гледна точка неговите граници трябва да включват всички населени места на заинтересованите общини, които да допринесат за разработването на една цялосна концепция за развитието на геопарка с тяхните обичаи, традиции и уникално културно-историческо наследство, във фокуса, на която стоят самоковските занаяти.

Заключение

Изброените дотук преимущества на Рила планина я правят много перспективна за разработване на геопарк.

Изключителното георазнообразие на магмените И метаморфните скали в района, впечатляващите кватернерни ледникови образувания и забележителното културно-историческо наследство могат да превърнат този край във втория български геопарк, кандидат за "Геопарк на ЮНЕСКО" след Белоградчишките скали. За това е необходима силна местна инициатива, която вече е налице и дава първите резултати. Общините Самоков и Сапарева баня обединиха своите усилия и потърсиха професионална подкрепа от българската геоложка общност. Разработването на геопарк Рила ще доведе до стимулиране на местната икономика чрез развиване на геотуризъм, който за разлика от традиционния за региона зимен туризъм е целогодишен.

Литература

- Антонов, П., П. Милованов, А. Попов, Б. Йорданов, К. Бонев, М. Дюлгеров, Р. Маринова, С. Саров, С. Приставова, Б. Банушев. 2011а. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-59-Б (София-юг). С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 51 с.
- Антонов, П., П. Милованов, А. Попов, Б. Йорданов, М. Дюлгеров, Р. Маринова, С. Саров, С. Приставова, Б. Банушев. 2011б. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-59-Г (Ковачевци). С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 32 с.
- Загорчев, И. 1984. Доалпийски строеж на Югозападна България. В: Проблеми на геологията на Югозападна България. С., Техника, 9-20.
- Кожухаров, Д. 1984. Литостратиграфия докембрийских метаморфических пород Родопской супергруппы в Центральных Родопах. *Geologica Balc.*, *14*, 1, 43-92.
- Милованов, П., И. Петров, И. Климов, В. Желев, Д. Синьовски, В. Вълев, Е. Илиева, Е. Найденов, С. Приставова. 2008. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-70-Г (Ваксево). С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 66 с.

- Милованов, П., И. Петров, В. Желев, Д. Синьовски, А. Маринова, И. Климов, В. Вълев, М. Ичев, Е. Илиева, С. Приставова, Б. Банушев. 2009. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-82-Б (Делчево) и К-34-83-А (Симитли). С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 108 с.
- Саров, С., С. Московски, Т. Железарски, Е. Войнова, Д. Николов, И. Георгиева, Н. Марков, К. Колчева, Д. Иванов. 2011а. 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, 52 с.
- Саров, С., С. Московски, Т. Железарски, Е. Войнова, Д. Николов, И. Георгиева, Н. Марков, К. Найденов, К. Колчева. 2011б. Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:50 000. Картен лист К-34-72-А (Самоков-юг). С., МОСВ, Българска национална геоложка служба, 52 с.
- Хрисчев, Х., В. Ангелов, М. Антонов. 2005. 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, 171-175.
- Guidelines and Criteria for National Geoparks, 2007. UNESCO Global Geoparks Network, January 2007; http://www.unesco.org/science/ earth/geoparks.shtml. 12-102.
- Jelev, V., D. Sinnyovsky, V. Belogoushev. 2002. "Iskar Defile" Geopark in Bulgaria – ideas and problems. – 3rd European Geoparks Network Meeting (Eggenburg – Austria), Vol. of abstracts; 22-23.
- Kozhoukharov, D. 1988. Precambrian in the Rhodope massif, Lithostratigraphy. – In: Zoubek, V., J. Cogne, D. Kozhoukharov, H. Krautner (eds.) Precambrian in Younger Fold Belts. Wiley Interscience Publications. John Wiley & Sons, Chichester, 721-745.
- Sinnyovsky, D. 2014. Geodiversity of Rila Mountain, Bulgaria. -XX Congress of the Carpathian Balkan Geological Association, Tirana, Albania, 24-26 September 2014, (in press).

Статията е рецензирана от доц. д-р Иван Димитров 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. І. РУСЛОВИ КОМПЛЕКСИ

Георги Айданлийски

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

РЕЗЮМЕ. Отделянето на руслови комплекси в алувиалните отложения - елемент CH, е в пряка зависимост от възможността да се дефинират формата и ранга на ограничаващата го отдолу ерозионна повърхност, като при достатъчно уверено определяне на последния, се идентифицират и няколко разновидности, свързани основно с проявата на авто- и алоциклични процеси. Характерно за този е развитие на съставен (многоетажен) вътрешен строеж, усложнен от множество вътрешни размивни повърхност от различен ранг. Най-едромащабният идентифицируем елемент в алувиалната система е русловият комплекс, при който долната ограничителна повърхност е от шести ранг - разновидност CH₍₆₎. Всички останали архитектурни елементи могат да се съдържат частично или изцяло в него, при което както те, така и изграждащите го литофациални ансамбли често формират циклични последователности, най-частично или изцяло в него, при което както те, така и изграждащите го литофациални ансамбли често формират циклични последователности, най-частично или изцяло в него, при което както те, така и изграждащите го литофациални ансамбли често формират циклични последователности, най-частично или изцяло в него, при което както те, така и изграждащите с с литофациални ансамбли често формират циклични последователности, най-часто маркирани от четвърторангова ограничителна ерозионна повърхност. Елемент СН₍₆₎ се интерпретира като алувиална палеодолина с целият комплекс от седиментационни обстановки и процеси в нея, формирани в разултат на рязко изменение на някой от параметрите, определящи профила на равновесие на алувиалната система. Образуването на разновидност СН₍₅₎ се свързва с процеси на миграция (авулсия) на основните русла, когато ерозионната граница в основата е от пети ранг, и вътрешнорусловите (второстеленни) речни канали, когато ерозионната граница е от четвърти ранг. Образувана последните често е свързано с периоди на силни наводнения или при рязко спадане на водното ниво. Геометрията на елемент CH е пряко свързана със стила на алувиалната система, чиит

ARCHITECTURAL-ELEMENT UNIT CHARACTERISTICS OF THE PETROHAN TERRIGENOUS GROUP SECTIONS IN PART OF WESTERN STARA PLANINA MOUNTAIN. I. CHANNEL COMPLEXES George Aidanlijsky

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

ABSTRACT. The channel complexes recognition in fluvial deposits - an element CH, depends directly on the ability to be defined the shape and the rank of the bottom-forming erosion surface, and in case it is possible to be done this well enough, to be identified several varieties, mainly related to the occurrence of auto- and llocyclic processes. The development of a composite (multistore) internal structure, complicated by multiple internal erosional surfaces of different ranks is typical for this element. Channel complex in which the lower bounding surface is of sixth rank - variety $CH_{(6)}$, is most large-scale identifiable element in the fluvial flood plain system. All other architectural elements may be present partly or wholly therein, in which both they as well as the lithofacies ensembles that build them form cyclic sequences, often marked by the fourth rank bounding erosional surface. Element $CH_{(6)}$ is interpreted as fluvial paleovalley with the whole complex of depositional environments and processes in it, formed as a result of a sharp change of any of the parameters that define the profile of equilibrium of the fluvial system. The variety $CH_{(5)}$ creation is associated with the process of migration (avulsion) of the mainstream, when bottom-forming erosion surface is from the fifth rank, and intramainstream (secondary) fluvial channels, when bottom-forming erosion surface is the fourth rank. The formation of the last one is often associated with periods of strong flooding or a sharp drop in water level. The geometry of the element CH is directly related to the style of the fluvial system whose product it is, as well as the nature of sediments in which channel complex cuts.

Въведение

Отделянето и характеризирането на архитектурноелементни единици в алувиални отложения изисква достатъчно добра разкритост и достъпност за измерване и документиране на изучаваните разкрития. В най-голяма степен това важи за русловите (каналовите) комплекси елемент СН (channels), представляващи разнообразни по геометрия ерозионни канали, явяващи се част от общата система за транспорт на седиментен материал в алувиалната равнина. Тяхната форма, степен и мащаб на развитие, вътрешен строеж, както и делът им в изграждането на алувиални цикли от различен ранг са сред водещите критерии за определяне на типа алувиална система. Идентификацията и характеристиката на елемент СН има значима роля при изучаването на алувиалната цикличност. В най-общия случай този елемент формира основата на елементарните алувиални цикли (Айданлийски, 2005) резултат от хоризонталната миграция на главното речно русло. Детайлната характеристика на елемент СН е от съществено значение и за възстановяване на условията и процесите, контролиращи формирането на древните алувиалната последователности.

Цел на настоящата работа е да запознае в краткост с основните положения при дефиниране и интерпретиране елемент СН, установен в разрезите на Петроханскрата теригенна група (Тронков, 1981) в обхвата на Берковската единица, Западна Стара планина (фиг. 1). Принципите и методите на отделяне на елемента са съгласно предложените от Miall (1985). При описание на вътрешния му строеж са използвани вече дефинираните в предходни публикации (Айданлийски, 2010а, 2012, 2013а,б) алувиални литофациални единици, съгласно които са и ползваните в текста и фигурите абревиатури. Рангът на ограничителните повърхности и абревиатурите, ползвани за обозначаване на архитектурно-елементните единици, са съгласно Айданлийски (2014).



Фиг. 1. Схематична карта на разкритостта на Петроханската теригенна група (ПТГ) в проучената област: (1) район на изследване; (2) разкрития на ПТГ; (3) разлом; (4) населено място; (5) местоположение на разкритията от диаграмите в текста.

При изучаването на елемент СН са използвани фотопанорами на представителни и достатъчно добре разкрити интервали от разрезите Петроханскрата теригенна група, послужили за основа за разработване на диаграми с нанесени ограничителни повърхнини, разпространение и взаимоотношения между литофациалните единици. Преобладаващата за разкритието посока на седиментен палеотранспорт е установена на база на масови измервания на всички достъпни в разкритието текстури-индикатори за това.

Описание

Идентифицирането на елемент СН в алувиалните отложения е в пряка зависимост от възможността да се дефинират ранга и формата на ограничаващата го отдолу ерозионна повърхност. Нейната форма варира в широки граници и често е функция от общите размери на единицата. Като правило с нарастване на напречната на посоката на седиментен палеотранспорт ширина на елемента, окрайнините му стават по-полегати. Срещат се и пластовидни (покровоподобни) по форма руслови комплекси, чиито окрайнини практически трудно се идентифицират, поради малкия си наклон. Горнището на елемент СН може да бъде както ерозионна повърхност така и постепенен литоложки преход. Обикновено елемент СН показва съставен (многоетажен) вътрешен строеж, усложнен от множество размивни повърхности от различен ранг (фиг. 26, 3 и 4), като често изграждащите го литофациални ансамбли (литофациеси SI, Str, Sp, Sh, Sr и Ss) или архитектурните елементи (LS, CH(CS), DA, SB и LA) показват цикличен строеж. Долната граница на подобни цикли е маркирана от

отделна, най-често четвърти ранг ограничителна ерозионна повърхност, а дебелината на всеки отделен цикъл не превишава амплитудата на по-високоранговата ограничителна повърхност (фиг. 3 и 4).

При проведените до момента теренни изследвания бе установено, че в случаите, когато рангът и спецификата на дефиниращата го долна ограничителна повърхност са идентифицирани достатъчно прецизно, е полезно както за целите на палеогеографския, така и за стратиграфския анализ, елементът СН да бъде поделян на няколко разновидности, обозначавани с горен или/и горен индекс в скоби след символа. Така в случаите когато става дума за характера на ограничителната повърхност се ползва горен индекс (напр. CH^(CS) – руслов комплекс, свързан с формирането на крайруслови потокови отложения), докато в случаите, при които достатъчно уверено е определен ранга на ограничаващата го отдолу повърхност, след символа на елемента, в скоби с долен индекс се добавя ранга на тази повърхност (напр. СН₍₅₎ – руслов комплекс, ограничен отдолу от ерозионна повърхност от 5-ти ранг, формирана при миграция на основното русло). Отделянето им е възможно само при наличие на подходяща за това разкритост.

Най-едромащабният идентифицируем елемент в алувиалната система е разновидност CH₍₆₎ на русловите комплекси. Всички останали архитектурни елементи могат да се съдържат частично или изцяло в него. Дефинитивна за неговото отделяне е долната ограничителна повърхност от шести ранг. Поради значителните си размери, този елемент рядко е разкрит изцяло. Ето защо неговата геометрия може да бъде реконструирана предимно посредством набиране на адекватна литофациална информация и корелация между близко разположени разкрития или разрези (виж Айданлийски, 2010б, фиг. 2). От своя страна разновидност СН₍₆₎ съдържа по-нискоразредни единици, които, поради по-малките си размери, са по-пригодни за пряк полеви анализ (фиг. 4). Една от тях е разновидност СН₍₅₎ на елемент СН, дефинирана от ерозионна долна ограничителна повърхност от пети ранг. Специален интерес при анализа на алувиалния стил представляват сравнително нискоамплитудните и нешироки каналови комплекси развити в горната част и периферията на разновидност СН(5) и дефинирани от ерозионна ограничителна повърхност от четвърти ранг (фиг. 2е и 4). В повечето от случаите те са изградени от литофациеси SI, Str, Sr и порядко от FI, а запълващите ги материали като цяло са полошо сортирани и по-дребнозърнести от тези изграждащи разновидност СН₍₅₎ (фиг. 3). Тази разновидност се обозначава като CH(CS).

Интерпретация

Отделените разновидности на елемент CH са резултат от автоциклични (разновидности CH₍₅₎ и CH^(CS)) и алоциклични (разновидност CH₍₆₎) процеси. Разновидност CH₍₆₎ се интерпретира като алувиална палеодолина с целият комплекс от седиментационни обстановки и процеси в нея. Генерирането на дефинитивната за този елемент ерозионна повърхност е резултат на рязко изменение на един или няколко от параметрите, определящи профила на равновесие на алувиалната система, и може да се ползва като регионален стратиграфски репер. Две такива повърхности се следят във всички разрези на Петроханската теригенна група в обхвата на Берковската единица и поделят групата на три обособени, разположени една над друга единици, обозначени като мезоцикли (Айданлийски, 2010б).



Фиг. 2. Архитектурен елемент CH: (а) нискорелефен участък от ерозионна граница от 6^{-ти} ранг (над белите стрелки), отделяща мезоцикли МС-0 и МС-1 в района на Искърския пролом (виж още Айданлийски, 2010б, фиг. 2); (б) долна част на многоетажен елемент CH₍₅₎ с цикличен вътрешен строеж, доминиран от литофациеси Str и SI (елемент SB), усложнен от нискорангови ерозионни повърхности (черни стрелки); (в) – ограничителна повърхност от 5^{-ти} ранг от основата на елементарен алувиален цикъл, покрита от литофациес Sm; (г) напречен срез на дребномащабен елемент CH, развит в разливни отложения, масово обхванати от палеопедогенни процеси. Подобно на случаят демонстриран в (е), стръмният борт на канала указва за частична литификация на седиментите, в които каналът е врязан; (д) поредица от дребномащабни канали, развити в основата на каналов комплекс, запълнен от елемент LA; (е) разновидност CH^(CS) врязан в прируслови песъчливи отложения.

Образуването на разновидност СН₍₅₎ се свързва с процеси на миграция (авулсия) на алувиални канали. Формата и степента им на развитие са пряко отражение на стила на алувиалната дейност. Тук се включват основните русла (когато ерозионната граница в основата е от пети ранг) и вътрешнорусловите (второстепенни, когато ерозионната граница е от четвърти ранг) речни канали. Вътрешноруславите канали представляват втори и по-нисък порядък русла, такива като секущите периферноруслови коси и банки канали, врязаните в горнището на мащабните вътрешноруслови валове и банки канали (фиг. 2б) или канали врязани в крайрусловите валове (разновидност СН^(CS), фиг. 2e, 3). Тяхното образуване се инициира в периоди на мощни наводнения (когато са изградени от литофациеси SI и Sh) или при рязко спадане на водното ниво (когато доминират литофациеси Str, Sp и Sr). При чести флуктуации на потоковият режим, вътрешният им строеж може да бъде модифициран многократно, което води до генерирането на цикли, разделени от литофациес Se.



представящо напречната морфология на четири наложни един в друг разновидности СН₄(^{CS)} на руслови комплекси. В три от случаите долната част на всеки един от тях е изградена от литофа-циеси Str *u*/или SI, като в долните два тези литофациес и покривацият ги трети е изграден изцяло от него. Морфологията и литофациалния строеж на елемент СН в това разкритие са характерни за меандриращия тип алувиални системи. В горната част от разкритието е развит елемент LS, чиято основа представлява ерозионна граница от 5-^и ранг покрита от литофациеси SI, Sh, върху които е развит литофациес P. Равнината на фотопанорамата сключва ътъл 61° със доминиращата за разкритието посока на паложи чук в средата на фотопанорамата. Фиг. 3. Фотопанорама (а) и архитектурно-елементна диаграма (б) на разкритие в най-горната част на Петроханската теригенна група,непосредствено под границата и със Свидолската свита,

ŝ CH(5)

0



Фиг. 4. Фотопанорама (а) и архитектурно-елементна диаграма (б) на напречен разрез на два, разположени един над друг архитектурни елементи CH₍₅₎ със многоетажен (съставен) вътрешен строеж от най-горната част на Петроханската теригенна група североизточно от гара Лакатник. Ясно личат множеството по-нискоразредни (четвърти ранг) ерозионни повърхности, маркиращи реактивация във функционирането на алувиалните канали. Дълбочината на ерозионният врез на каналите в разкритието често надвишава 2 m. В долната половина на диаграмата ясно са обособени остатъчни (дънни), високо- и нискоенергийни отложения, отразяващи етапите от формирането на елемент CH (разновидност CH₍₅₎), изразяващи се в налагане един върху друг на вътрешноруслови канали (разновидности CH₍₄₎). В повечето от случаите те частично или напълно са изградени от литофациес Bbr, формиран при мобилизация и повторно отлагане на карбонатен материал с последващо ново образуване на палеопедогенни продукти (литофациес P). Равнината на фотопанорамата сключва ъгъл 23° със доминиращата за разкритието посока на палеотранспорт.

Развитието на разновидност СН^(CS) се свързва основно с дейността на анастомиращ и слабо меандриращ тип алувиални системи (Miall, 1996). За разлика от схемата на същия автор, в която подобни отложения представляват самостоятелен елемент, в настоящата работа те се разглеждат като разновидност на елемент СН. Към този порядък каналови комплекси се отнасят и тези, генерирани сред финозърнестите отложения на разливната равнина, но запълнени от псамитнодоминирани литофациеси (фиг. 2r).

В случаите, когато елемент СН е изграден преобладаващо от литофациеси Ss, Fl, Fm и/или Fsc, същият се интерпретира като проява на изоставено русло (старица), образувано в резултат на дейността на меандриращ или анастомиращ тип речна система. Много често подобен род тела са продукт от действието на значими, понякога катастрофални, наводнения или бърза авулсия на основното русло.

Морфологията на елемент СН е пряко свързана със стила на алувиалната система, чийто продукт е той. Friend et al. (1979), Friend (1983) и Blakey and Gubitosa (1984) отделят три основни типа руслови комплекси: (а) фиксирани - със стабилни крайруслови валове; (б) мобилни - с нестабилни крайруслови валове (с комплексен характер на вътрешния строеж); (в) покрововидни. Фиксираният тип руслови комплекси са с отношение ширина/дълбочина помалко от 15. При мобилния тип доминират процесите на руслова миграция, което води до отношение ширина/дълбочина на комплекса по-голямо от 15. Когато това отношение превишава 100, те се отнасят към покрововидния тип. От друга страна геометрията на елемент СН е функция и от природата на седиментите, в които русловият комплекс се врязва (Crowley, 1983; Church and Rood, 1983; Carson, 1984а,б). Руслата, пресичащи доминирани от финозърнести седименти участъци, особено, когато тези материали са относително уплътнени, имат по-стръмни окрайнини (Smith, 1976). Развитието на педогенни процеси също повишава устойчивостта на извънрусловите отложения към ерозия (Allen and Williams, 1982; Gibling and Rust, 1990). Руслата, които пресичат неконсолидирани, с ниска резистентност към механична ерозия псамитно- и псефитнодоминирани наслаги, обикновено имат по-полегати окрайнини. В случаите, при които твърдият сток на реката се доминира от псамитни и/или псефитни материали, също се образуват покрововидни по форма руслови комплекси. Степента на развитие и запазеност на елемент СН е в пряка зависимост и от наличното към момента на неговото формиране акомодационно пространство. В случаите, когато то е ограничено, са налице разнообразни процеси на наслагване и преработка, които от една страна затрудняват идентификацията на ранга и природата на долната ограничителна повърхност, но от друга, са ценен индикатор за фактори и процеси с вътрешнобасейнов характер. Поради това латералната и вертикална изменчивост в характеристиките на елемент СН, степента на неговата запазеност и делът на този елемент в алувиалните последователности са сред важните критерии при разработване на вътрешнобасейнови алогенетични стратиграфски схеми отразяващи изменението на акомодационното пространство (Айданлийски, 2005).

Литература

- Айданлийски, Г. 2005. Фациеси, обстановки на седиментация и стратиграфия на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. – Автореферат, С., МГУ "Св. Иван Рилски", 55 с.
- Айданлийски, Г. 2010а. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. І. Псефитнодоминирани литофациеси. -*Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т. 53, св. 1, Геол. геофиз., 13-18.
- Айданлийски, Г. 2010б. Циклостратиграфска подялба на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 53, св. 1, Геол. геофиз., 19-26.
- Айданлийски, Г. 2012. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. II. Псамитнодоминирани алувиални литофациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 55, св. 1, Геол. геофиз.: 5-10.
- Айданлийски, Г. 2013а. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. IV. Алевритно- и пелитнодоминирани литофациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 56, св. 1, Геол. геофиз., 7-12.
- Айданлийски, Г. 20136. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. V. Специфични литофациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 56, св. 1, Геол. геофиз., 13-18.
- Айданлийски, Г. 2014. Параметри на архитектурноелементния анализ на алувиално-доминирани континентални седиментни последователности. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 57, св. 1, Геол. геофиз., (под печат).
- Тронков, Д. 1981. Стратиграфия триасовой системы в части Западного Средногорья (Западная Болгария). *Geologica Balc.*, 11, 1, 3-20.

- Allen, J. R. L., B. P. J. Williams. 1982. The architecture of an alluvial suite: rocks between the Townsend Tuff and Pickard Bay Tull beds (Early Devonian), Southwest Wales. – *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, Ser. B, 297, 51-89
- Blakey, R. C., R. Gubitosa. 1984. Controls of sandstone body geometry and architecture in the Chinle Formation (Upper Triassic), Colorado Plateau. – Sediment. Geol., 38, 51-86.
- Carson, M. A. 1984a. The meandering-braided river threshold: a reappraisal. *J. Hydrol.*, 73, 315-334.
- Carson, M. A. 19846. Observations on the meandering-braided river transition, the Canterbury Plains, New Zealand, Part One. – N. Z. Geogr., 40, 12-17.
- Church, M., K. Rood. 1983. Catalogue of Alluvial River Channel Regime Data. – Dept. of Geography, Univ. British Columb., 99 p.
- Crowley, K. D. 1983. Large-scale bed configurations (macroforms), Platte River Basin, Colorado and Nebraska: Primary structures and formative procasses. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, 94, 117-133.
- Friend, P. F. 1983. Morphology and sedimentology of a sinuous gravel-bed channel system: lower babbage River, Yukon coastal plain, Canada. – In: *Modern and Ancient Fluvial Systems*, (Eds. Collinson, J. D. and J. Lewin), Int. Assoc. Sediment., Spec. Publ. 6, 195-206.
- Friend, P. F., M. J. Slater, R. C. Williams. 1979. Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain. – J. Geol. Soc. London, 136, 39-46.
- Gibling, M. R., B. R. Rust. 1990. Ribon sandstones in the Pensilvanian Waddens Cove Formation, Sydney Basin, Atlantic Canada: the influence of siliceous duricrusts on channel-body geometry. – Sedimentology, 37, 45-65.
- Miall, A. D. 1985. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. – *Earth Sci. Rev.*, 22, 261-308.
- Miall, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. -Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 582 p.
- Smith, D. G. 1976. Effect of vegetation on lateral migration of anastomosed channels of a glacial meltwater rivers. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87, 857-860.

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

ПАРАМЕТРИ НА АРХИТЕКТУРНО-ЕЛЕМЕНТНИЯ АНАЛИЗ НА АЛУВИАЛНО-ДОМИНИРАНИ КОНТИНЕНТАЛНИ СЕДИМЕНТНИ ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТИ

Георги Айданлийски

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

РЕЗЮМЕ. Интерпретацията на алувиалния стил и изясняване на ролята на вътрешно- и външнобасейновия контрол при формирането му изисква комплексно изучаване на взаимоотношенията на формираните от него литофациални единици и ограничаващите ги повърхнини. Понастоящем сред методите прилагани за постигането на тази цел най-широка популярност придобива архитектурно-елементният анализ. Анализът се основава на разбирането, че алувиалните последователности са изградени от ограничен брой градивни единици - "архитектурни елементи", представящи тримерните вариации в състава и геометрията на алувилните литофациални последователности. Дефинирането им е базирано както на тяхната форма, така и на организацията на вътрешния им строеж. Тези белези отразяват различния стил на нарастване на седиментните тела и в повечето случаи са свързани с морфоложки белези от мащаба на комплексните седиментни макроформи. Идентификацията и характеристиката на архитектурните елементи включва установяване природата, морфологията и ориентацията на ограниченте повърхности, мащаба, вътрешната и външната геометрия на единицата, както и латералните и вертикални литофациални последователности и взаимовръзка. Приложената при изучаването на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина схема е базирана на предложената от Miall (1996) с известни допълнения и модификации, съобразени с особеностите на изследвания обект.

ARCHITECTURAL-ELEMENT ANALYSIS PARAMETERS IN FLUVIAL-DOMINATED CONTINENTAL SEDIMENTARY SUCCES-SIONS

George Ajdanlijsky

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

ABSTRACT. The fluvial style interpretation and the role of intra- and extra-basin control recognition during its formation requires a complex investigation of the generated lithofacies units' relationships and their bounding surfaces. Today, among the methods applied to achieve this objective, the widest popularity acquires the architectural-element analysis. The analysis is based on the understanding that the fluvial successions are composed of a limited number of building units – "architectural-element", that represent 3-D variations in the composition and geometry of fluvial lithofacies successions. Their definition is based both on their external form and organization of their internal structure. These features reflect the different style of growth of sedimentary bodies and in most cases are associated with morphological features on the scale of the complex sedimentary macroforms. The identification and the characterization of architectural elements includes establishing the nature, morphology and orientation of the bounding surfaces, the scale, the internal and external geometry of the unit, as well as lateral and vertical litofatsialni sequences, their significance and relationship. The applied in the study of Petrohan Terrigenous Group in part of Western Stara Planina Mountain scheme is based on that proposed by Miall (1996) with some additions and modifications tailored to the specificities of the research object.

Въведение

Интерпретацията на алувиалния стил на седиментация и изявата на ролята на вътрешно- и външнобасейновия контрол при неговото формиране изисква комплексно изучаване на взаимоотношенията на литофациалните единици от различен ранг и ограничаващите ги повърхнини (Cant and Walker, 1976, 1978; Cant, 1978). Понастоящем сред методите ползвани за постигането на тези цели найширока популярност придоби архитектурно-елементният анализ. Този метод се основава на разбирането, че кластичните континентални последователности са изградени от неголям брой базисни градивни единици, наречени архитектурни елементи (Allen, 1983; Ramos and Sopena, 1983; Miall, 1985). Неговото прилагане допринася значително за възможно най-пълна фациална характеристика, моделиране на обстановките на седиментация и стратиграфска подялба на континентални отложения.

Сред първите работили в това направление е Friend (1983), който акцентира върху необходимостта от литофациална подялба алувиалните отложения на два основни архитектурни елемента - руслови и извънруслови отложения. Съобразно спецификите на тяхната геометрия и вътрешен строеж той дефинира два типа руслови отложения продуцирани от фиксирани и от мобилни алувиални системи. Следваща стъпка в това направление прави Allen (1983), който, базирайки се на въведените от Campbell (1976) и Brookfield (1977) йерархични схеми на ограничителните повърхнини в континенталните седименти, отделя в русловите отложения единици, ограничени от различаващи се по своя генезис и обхват повърхнини. В последствие Miall (1985, 1988) доразвива тази идея, предлагайки схема, която обхваща и извънрусловите отложения. В нея той свежда строежа на алувиалните серии до комбинация от ограничен брой унифицирани единици - архитектурни елементи. В последствие тяхната генетична интерпретация позволява да бъде изведен и набор от белези, поделящи процесите протичащи в алувиалната равнина на свързани с вътрешнобасейновия контрол (автоциклични) и такива, изискващи извънбасейново обяснение (алоциклични). Стилът на алувиална седиментация, от своя страна, определя специфичните черти на геометрията и пространствените взаимоотношения между руслови и извънруслови отложения, наричани за по-кратко "архитектура на кластичната последователност" (Mackey and Bridge, 1992).

Архитектурно-елементният анализ се основава на разбирането, че алувиалните последователности са изградени от ограничен брой градивни единици - архитектурни елементи (Allen, 1983; Miall, 1988), наричани в редица по-късни публикации за краткост "елементи". Техните идентификация и характеризиране се извършва в значими по площ дву-, а при възможност и тримерни разкрития, позволяващи по-пълно изучаването пространствените вариации в състава и геометрията на алувилните литофациални последователности. Дефинирането им е основано както на тяхната форма, така и на организацията на вътрешния им строеж. Тези белези отразяват различния стил на нарастване на седиментните тела в обхвата на алувиалната равнина и в повечето случаи са свързани с морфоложки белези от мащаба на комплексните седиментни макроформи. Според Miall (1988), въпреки някои вариации в отделни детайли от характеристиките им, всички алувиални отложения могат да се разглеждат като изградени в различни пропорции от осем основни елемента. В резултат на мащабните изследвания проведени в тази област, възникват редица по-детайлни схеми (Halfar et al., 1998), в които се предлагат по няколко разновидности на отделни елементи, както и съвсем нови за схемата на Miall (1988) базови единици. В повечето случаи те са резултат от проучвания на конкретен обект и регион и отразяват специфични геоложки условия. Поради това тяхното прилагане при други изследвания и условия невинаги е удачно. Сам Miall (1995) подкрепя тази практика, но уточнява, че подобен подход би довел до излишна и затормозяваща детайлизация на схемите.

Макар и вече широко приет в чуждестранната специализирана литература, материалите базирани на изследвания ползваши този тип анализ у нас са все още твърде ограничени както като брой, така и като обекти (Ajdanlijsky and Stoyanov, 2003; Желев и Айданлийски, 2004; Айданлийски и др., 2004; Ajdanlijsky et al., 2005). От друга страна популяризирането на този метод изисква известно унифициране в термините и критериите, прилагани при отделяне и характеризиране на подобен род единици, което е и целта на настоящата работа. За основа на това послужи широкообхватно изследване на разрези на Петроханската теригенна група (Тронков, 1981) в част от Западна Стара планина, провеждано през последните години, при което бе приложена предложената от Miall (1996) номенклатура на архитектурно-елементните единици, модифицирана и допълнена съобразно особеностите на изследвания обект.

Основни положения

Прилагането на архитектурно-елементния анализ е възможно само за райони, предлагащи необходимата за това разкритост. Задоволителната характеристика на архитектурните елементи изисква преди всичко изясняване на тяхната геометрия, което често е свързано с наличието на латерални разкрития от минимум няколко десетки метра. При идентификацията на по-мащабните елементи и тези с пластовидна геометрия, това изискване нараства до стотици метри, условие, което рядко се среща в проучвания район. Разкрития, чиито размери са съизмерими или помалки от мащаба на даден елемент обикновено не позволява неговата коректна характеристика. Ето защо в терени, в които такива условия не са налице. подобни изследвания могат успешно да се базират и на достатъчно наситено по площ и внимателно позиционирано вертикално литофациално профилиране, съчетано с масови измервания на ориентацията на индикаторите на посоката на седиментен палеотранспорт и изучаване на морфологията и ориентацията на ограничителните повърхнини. За постигане на коректен модел на пълен руслов комплекс често се налага изучаване на групи от внимателно корелирани разкрития, разположени напречно и надлъжно на доминиращите палеотранспортни направления и отдалечени (по възможност) относително на равни разстояния едно от друго.

Дефинирането и идентифицирането на архитектурните елементи се основава на тяхната морфология, в значителна степен предопределена от характера на ограничаващите ги повърхнини, и вътрешната им организация, представяща специфична литофациална асоциация. В тези белези пряко рефлектира стила на седиментация, предопределящ вида и мащабите на генерираните седиментни форми. Под седиментни форми се подразбира всяко изменение на плоската форма на горната повърхност на седиментите от руслото, неговите окрайнини или от заливната тераса. свързано с въздействието на течаща вода или друг флуид. опериращ по тази повърхност. В изследванията, проведени в разрези на Петроханската теригенна група, бе възприета предложената от Jackson (1975) подялба на потоковите седиментни форми на: (а) микромащабни форми (или микроформи), продуциращи дребномащабната коса слоестост; (б) мезомащабни форми (или мезоформи) описвани като пясъчни вълни, единични валове и банки с найразнообразна форма, продукт от еднообразни седиментационни процеси (към тази група влизат и нискоразредните ерозионни канали); и (в) макромащабни форми (или макроформи), съставни валове и форми, генерирани при кумулативното действие на разнообразни седиментационни събития.

Както архитектурно-елементният анализ, така и вертикалното литофациално профилиране се основава на прилагане на унифициран подход при изучаването и документацията на разрезите. Основна работна единица при това описание е литофациесът, представляващ сумата от всички първични особености на седиментните скали, на основата на които могат да се правят изводи за условията и обстановката на тяхното образуване. Изборът на класификационна номенклатура за описание на литофациесите за целите на архитектурно-елементният анализ се базира на две основни изисквания: (а) съпоставимост на резултатите; и (б) възможност за интерпретация и моделиране на характера и динамиката на седиментационните процеси. Като най-подходяща литофациална номенклатура при проведеното изследване на разрези на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина бе възприета тази предложената от Miall (1978), базираща се на зърнометричната и текстурна характеристика на скалите. Обозначаването на единиците става посредством абревиатури, съставени от една главна, отразява доминиращата в единицата зърнометрия, и една или две малки латински букви, отразяваща(и) нейната текстура (Айданлийски, 2010a, 2012a,б, 2013a,б; Ajdanlijsky et al, 2005, 2006). Подобен абревиатурен подход е твърде подходящ за полева документация както при литофациално профилиране и/или архитектурно-елементен анализ на разкрития, така и за разнообразна математическа обработка на получените данни. При спазване на тези правила за дефиниране на литофациалните единици, при нужда номенклатурата предложена от Miall (1978) успешно може да бъде модифицирана и допълвана, в това число за еолични и смесени теригенно-карбонатни последователности (Айданлийски, 20126; Ajdanlijsky, 2002).

Изборът на метод за теренната документация на изучаваните разкрития предопредели възприемането на предложената от Allen (1963) класификация за косата слоестост, базирана на: (а) наличие или отсъствие на групираност на сериите, (б) мащаб на сериите, (в) характер и (г) форма на долната ограничителна повърхност, (д) ъглови отношения на слоевете с долната повърхност на серията и (е) степен на литоложка хомогенност, а при свързаното с нея описание на дебелината на слоевете е съобразено с номенклатурата на Ingram (1954, табл. 2, виж още Blatt et al., 1972, табл. 5-1). При описанието на възходящите ребра (climbing ripples) тази схема е допълнена с критериите, въведени от Hunter (1977), които са съпоставими с тези. използвани от Simons et al. (1965), при хидродинамичната интерпретация на седиментните текстури в разработената от него концепцията за потоковия режим.

От своя страна изборът на литофациална номенкратура предопределя и тази, прилагана при структурната характеристика на литофациалните единици. Поради това при прилагане на литофациалния подход на Miall (1978) зърнометричната характеристика се извършва в класовете на ф-скалата (Петиджон и др., 1976), докато зърнометричната полева характеристика на единиците се базира на разработената от Фридман и Зандерс стандартна скала (виж Miall, 1990, табл. 2.1). От своя страна при описание на степента на сортираност е ползвана петстепенна скала много лошо сортирани, лошо сортирани, средно сортирани, добре сортирани и много добре сортирани (Bogs, 1995, стр. 85-91; Lewis and McConchie, 1994, фиг. 7-12). При анализа на данните е приложена разработената от Folk et al. (1970) класификация на лошо сортирани теригенни скали, която е полево използваема, индексова и приложима при литофациалното моделиране. При документация на псефитнодоминираните разновидности е възприета предложението на Folk (1954) и Folk et al. (1970) за долна гранична стойност на тази група да се приема наличието на 30% и повече псефитни късове (над 2 mm) в обема на скалата. В групата на псефитнодоминираните литофациеси се различават ненаситени и наситени разновидности, отговарящи на термините "matrix supported gravel" и "grain supported gravel" в англоезичната литература.

Наред с литофациалната идентификация, друг важен елемент от архитектурно-елементния анализ е изучаването на индикаторите на посоката на седиментен палеотранспорт. Под посока на седиментен палеотранспорт (преобладаваща посока на палеотранспорт или преобладаваща посока на палеотечение) се подразбира транспортно направление, чиято посока е изведена чрез изучаване на текстурни белези на скалите, наричани още индикатори на посоката на палеотранспорт, указващи посоката на седиментен транспорт в процеса на генерирането на изучаваните седиментни последователности. Това включва мащабното измерване на: (а) страната и наклона на мезомащабна плоскопаралелна и мулдовидна коса слоестост (литофациеси Sp и Str - Айданлийски, 2012а); (б) ориентацията на знаците на течение по долнището и горнището на пластовете (ямки от водовъртежи, следи на обтичане и влачене); (в) страната и наклона на алувиална дребномащабна коса слоесост от всички видове (литофациес Sr -Айданлийски, 2012а); (г) посоката на гребените на асиметрични ребра; (д) страната и наклонът на плоската повърхност и дългата ос на псефитни късове в тела с имбрикационна текстура и (е) страната и наклона на реактивационни и неерозионни вътрешноканалови повърхности.



Фиг. 1. Схема на ограничителните повърхнини, номерирани съобразно ранга им (виж още табл. 1), използвани при архитектурноелементния анализ на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. Обозначения: (1) абревиатурно обозначение на литофациална единица; (2) ранг на ограничителната повърхност; (3) страна и наклон на слоестостта или ограничителна повърхност; (4) абревиатурно обозначение за архитектурно-елементна единица.

Съществен елемент при идентификацията на архитектурните елементи е изучаване на морфологията и ориентацията на отличаващи се по ранг ограничаващи литофациалните единици повърхнини. Първоначално Allen (1983) дефинира трирангова йерархична система на ограничителните повърхнини. Системата е доразвита до шестрангова от Miall (1988) (фиг. 1), който дава и кратка генетична интерпретация на всяко от нивата в нея (табл. 1).

За коректна морфоложка характеристика на ограничителни повърхности от най-висок ранг е необходимо изучаване на множество разкрития, разположени относително равномерно и напречно на доминиращите палеотранспортни направления (Айданлийски, 2010б).

Под термина реактивационна повърхност се разбира нискоъгълна (слабо наклонена) ерозионна повърхност, секуща единични, групирани или съставни косослоести серии (Miall, 1992), резултат от преработка на подветрения склон на макроформите, свързана с флуктуации (главно в дълбочината и в по-малка степен в енергията) на потока (Collinson, 1996; Miall, 1996). С термина ерозионен канал се обозначават негативни форми, без значение на формата и размера, образувани в резултат на ерозионното действие на водни потоци. Различават се единични (simple) и съставни (composite) канали.

Седиментите образувани в условията на заливна тераса се обозначават като разливни или извънруслови отложения (overbank deposits в англоезичната литература – възприет е преводът на руски на Градзиньский и др., 1980).

Идентификацията и характеристиката на архитектурните

Таблица 1.

Й	ерархична	схема на оа	граничителните	повърхнини,	използвани	при архитект	урно-елементния анализ	(no Miall,	1988)	
	Davia									

ограничителната повърхност	Дефиниция	Интерпретация
1-ви	Разделяща отделните серии слоестост.	Миграция на седиментни микро- и мезоформи при устойчив потоков режим. Ограничаващата ги повърхност е функция от геометрията на мезоформата.
2-ри	Разделяща различни по тип единични или съставни серии.	Краткотрайни флуктуации в хидродинамичният режим на потока.
3-ти	Нискоъгълна ерозионна повърхност.	По-продължителни смени в хидродинамичните условия в потока, водещи до модификация на съществуващите мезо- и макроформи.
4-ти	Разделяща единици със засебена акреционна цялост.	Миграция на едромащабни макроформи или второстепенни потокови канали, протичаща в стабилни канали или при реорганизация по време на значими наводнения.
5-ти	Повърхност на значима смяна на зър- нометрията и/или мащаба на формите.	Миграция и ерозия на основния (доминиращия) руслов канал.
6-ти	Разделяща главните руслови тела от контрастни фациеси.	Значими изменения в алувиалния режим. Може да отразява изменение на ерозионния базис, климатични промени или тектонска активизация.

елементи включва:

- природа и морфология на ограничителните повърхности;
- мащаб на единицата дебелина и латерално (паралелно и перпендикулярно на посоката на доминиращия седиментен транспорт) разпространение;
- външна геометрия на единицата;
- вътрешен строеж на единицата, в т.ч.: латерални и вертикални литофациални ансамбли или последователности, наличие и ориентация на нискорангови (2÷3-ти ранг) ерозионни повърхности, ориентация на индикаторите на посоката на палеотранспорт, взаимоотношения на слоестостта спрямо ограничаващите повърхности.

Важно е да се отбележи, че повечето от литофациалните типове се явяват в повече от един алувиален архитектурен елемент, но значимостта им и взаимовръзката помежду им е различна във всеки един отделен елементи. Един от разпространените методи за изясняване на това е прилагането на анализ на марковски верижни свойства, който може да бъде твърде полезен при дефинирането на литофациалните последователностите вътре в архитектурните елементи, ако при това се отделя особено внимание на типа и ранга на ерозионните повърхности (Cant and Walker, 1976; Miall, 1973, 1977; Miall and Gibling, 1978). Прилагането на този метод на обработка на информация, получена при архитектурно-елементният анализ, трябва да бъде съобразено и със спецификите на латералното разпространение и взаимоотношения на литофациалните единици.

Съществен момент при провеждането на теренните архитектурно-елементни изследвания е мащабното предаване на латералната изменчивост в изучаваните разрези. Ето защо, съгласно предложения от Allen (1983) подход, в участъците, където вида и мащаба на разкритостта позволяваха това, върху предварително изготвени фотопанорами се нанесат данните за типа и ранга на ограничителните повърхности, литофациалните типове и техните взаимоотношения, типа и направлението на индикаторите на посоката на палеотранспорт, както и отделни, ключови за интерпретирането на алувиалния стил текстури. На тази основа се разработват диаграми позволяващи прецизно отделяне и характеризиране на архитектурните елементи в разкритието (Айданлийски, 2014).

Архитектурни единици

При проведените до момента изследвания на разрези на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина са отделени общо десет архитектурно-елементни единици, като девет от тях са пряк продукт от алувиалните процеси протичащи в русловия комплекс и заливната тераса. Някой от елементите могат да присъстват едновременно и в русловите и извънрусловите отложения. Елементи варират в мащаба и комплексността на вътрешния си строеж, като част от по-малките елементи образуват "многоетажни структури" (Friend et al., 1979) или "комплекси" (Allen, 1983) вътре в по-големите елементи.

Всред русловите отложения са отделени следните елементи: (*a*) елемент СН - руслов (каналов) комплекс (channel), представен от разнообразни по геометрия ерозионни канали, явяващ се част от общата система за транспорт на седиментен материал (Pettijon and Potter, 1964); (*б*) псефитнодоминирани потокови макроформи (gravel bars and bedforms) – елемент GB; (*в*) псамитнодоминирани макроформи (sandy bedforms) – елемент SB; (*г*) проградационни псамитни макроформи (downstream-accretion macroforms) – елемент DA; (*д*) латерално-акреционни отложения (вътрешномеандрова седиментна коса - lateral-accretion deposits) – елемент LA; и (*е*) покрови от хоризонталнослоести пясъци (laminated sand sheets) – елемент LS. Последният често се среща и сред извънруслови отложения.

Извънрусловите (заливно-терасовите) отложения се поделят на: (*a*) прируслови нискорелефни валове (естествени диги) – елемент LV; (*б*) крайруслови потокови отложения (crevasse-splay deposits) – елемент CS; и (*в*) финозърнести отложения и хипоседименти от заливната тераса (overbank fines) – елемент OF.

Като независима група се разглеждат отложенията от високоплътностни (гравитачни) потоци (sediment-gravityflow deposits) – елемент SG, които Miall (1996) причислява към алувиалните отложения.

В допълнение, под формата на отделни публикации и на основата на конкретни полеви примери, ще бъдат дефинирани и интерпретирани изброените по-горе архитектурноелементни единици, установени при изучаването на разрези на Петроханската теригенна група в обхвата на Берковската единица, Западна Стара планина.

Литература

- Айданлийски, Г. 2010а. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. І. Псефитнодоминирани литофациеси. -*Год. МГУ "Св. Ив. Рилски"*, т. 53, св. І, Геол. геофиз., 13-18.
- Айданлийски, Г. 2010б. Циклостратиграфска подялба на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 53, св. I, Геол. геофиз, 19-26.
- Айданлийски, Г. 2012а. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. II. Псамитнодоминирани алувиални лито-

фациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 55, св. I, Геол. геоф., 5-10.

- Айданлийски, Г. 2012б. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. III. Псамитнодоминирани еолични литофациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 55, св. I, Геол. геоф.,11-15.
- Айданлийски, Г. 2013а. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. IV. Алевритно- и пелитнодоминирани литофациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 56, св. I, Геол. геофиз., 7-12.
- Айданлийски, Г. 2013б. Литофациална характеристика на Петроханската теригенна група в част от Западна Стара планина. V. Специфични литофациеси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 56, св. I, Геол. геофиз., 13-18.
- Айданлийски, Г. 2014. Характеристика на архитектурноелементните единици в разрезите на петроханската теригенна група в част от западна стара планина. І. руслови комплекси. - Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", т. 57, св. І, Геол. геофиз. (под печат).
- Айданлийски, Г., Д. Тронков, А. Щрасер. 2004. 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, 90-101.
- Градзиньский, Р., А. Костецкая, А. Радомский, Р. Унгур. 1980. Седиментология. М., Недра, 646 с.
- Желев, В., Г. Айданлийски. 2004. Маршрут І. Лютиброд Зверино – Игнатица – Рашково - Клисурска река – Лютиброд. - В: Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом. (ред. Синьовски, Д.), С., Изд. В. Недков, 13-25.
- Петтиджон, Ф., П. Потер, Р. Сивер. 1976. *Пески и песчани*ки. М., Мир, 534 с.
- Тронков, Д. 1981. Стратиграфия триасовой системы в части Западного Средногорья (Западная Болгария). *Geologica Balc.*, 11, 1, 3-20.
- Ajdanlijsky, G. 2002. Cyclicities in the Svidol Formation near Cerovo village, NW Bulgaria. - Ann. Univ. Min. Geol, 45, 1, geol. geoph., 7-11.
- Ajdanlijsky, G., N. Stoyanov. 2003. Fluvial architecture of the sedimentary aquifer complex in the area of sanitary landfill Plovdiv. - Ann. Univ. Min. Geol., 46, 1, geol. geoph., 1-6.
- Ajdanlijsky, G., J. Genchev, N. Bitunski. 2005. Fluvial cyclicity from the sediments of the Lozenetc Formation. - Ann. Univ. Min. Geol., 48, 1, geol. geoph., 77-80.
- Ajdanlijsky, G., A. Zdravkov, J. Kortenski, D. Reischenbacher. 2006. Facial characteristics of the Roman Formation (Aptian) – an example of one section near Mezdra, Western Forebalcan. - *Ann. Univ. Min. Geol.*, 49, 1, geol. geoph., 85-90.
- Allen, J.R.L. 1963. The classification of cross stratified units. With notes on their origin. - Sedimentology, 2, 93-114.
- Allen, J.R.L. 1983. Studies in fluviatile sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams in the Browstones (L. Devonian), Welsh Borders. - Sediment. Geol., 33, 237-293.
- Bogs, S.Jr. 1995. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. (Sec. Ed.), N. J., Prentice Hall, 774 p.
- Brookfield, M. E. 1977. The origin of bounding surface in ancient aeolian sandsones. - *Sedimentology*, 14, 303-332.

- Blatt, H., G. Middleton, R. Murray. 1972. Origin of sedimentary rocks. Prentice Hall, 634 p.
- Campbell, C. V. 1976. Reservoir geometry of a fluvial sheet sandstone. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull, 60, 1009-1020.
- Cant, D. J. 1978. Development of facies model for sandy braided rive sedimentation: comparison of the South Saskatchewan River and Battery Point Formation. – In: *Fluvial sedimentology*. (Ed. Maill, A. D.), Can. Soc. Petrol. Geol. Mem. 5, 627-640.
- Cant, D. J., R. G. Walker. 1976. Development of a braided fluvial facies model for the Devonian Battery point sandstone, Quebec. - *Can. J. Earth Sci.*, 13, 102-119.
- Cant, D. J., R. G. Walker. 1978. Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. - Sedimentology, 25, 625-648.
- Collinson, J. D. 1996. Alluvial sediments. In: Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. (Ed. Reading. H. G.), Blackwell, 37-82.
- Folk, R. L. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. - *Jour. Geol.*, 62, 344-359.
- Folk, R. L., P. B. Andrews, D. W. Lewis. 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. – N. Z. Geol. Geophys., 13, 937-968.
- Friend, P. F. 1983. Morphology and sedimentology of a sinuous gravel-bed channel system: lower babbage River, Yukon coastal plain, Canada. – In: *Modern and Ancient Fluvial Systems*. (Eds. Collinson, J. D. and J. Lewin), Int. Assoc. Sediment., Spec. Publ. 6, 195-206.
- Friend, P. F., M. J. Slater, R. C. Williams. 1979. Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain. – J. Geol. Soc. London, 136, 39-46.
- Halfar, J., W. Riegel, H. Walther. 1998. Facies architecture and sedimentology of a meandering fluvial systems: a Paleogene example from the Weisselster Basin, Germany. – *Sedimentology*, 45, 1-17.
- Hunter, R. E. 1977. Basic types of stratification in small eolian dunes. Sedimentology, 24, 361-387.
- Ingram, R. L. 1954. Terminology for the thickness of stratification and parting units in sedimentary rocks. –*Geol. Soc. Am. Bull.*, 65, 937-939.
- Jackson, R. G. 1975. Hierarchical attributes and a unifying model of bed forms composed of cohesionless material and produced by shearing flows. - *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86, 1523-1533.
- Lewis, D. W., D. McConchie. 1994. *Analitical Sedimentology*. New York, Chapman and Hall, 197 p.

- Mackey, S. D., J. S. Bridge. 1992. A revised Fortran program to simulate alluvial stratigraphy. - *Comp. Geosci.*, 18, 119-181.
- Miall, A. D. 1973. Markov-chain analysis applied to an ancient alluvial plain succession. Sedimentology, 20, 347-364.
- Miall, A. D. 1977. A review of the braided river depositional environment. - *Earth Sci. Revs.*, 13, 1-62.
- Miall, A. D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided rivers depositts: a summary. – In: *Fluvial Sedimentology*. (Ed. Miall, A. D.), Canad. Soc. Petrol. Geol., Memoir 5, 597-604.
- Miall, A. D. 1985. Architectural-element analysis: A new method of facies analysis applied to fluvial deposits. – *Earth Sci. Rev.*, 22, 261-308.
- Miall, A. D. 1988. Architectural elements and bouning surfaces in fluvial deposits: Anatomy of the Kayenta formation (Lower Jurassic), Southwest Colorado. – Sediment. Geol., 55, 233-262.
- Miall, A. D. 1990. *Principles of Sedimentary Basin Analysis*, 2^{ed} ed. New York, Springer-Verlag, 668 p.
- Miall, A. D. 1992. Alluvial deposits. In: Facies models. Response to sea level changes. (Eds Walker, R. and N. James), Geol. Assoc. Can., 454 p.
- Miall, A. D. 1995. *The Geology of Stratigraphical Sequences*. Springer-Verlag, 439 p.
- Miall, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 582 p.
- Miall, A. D., M. R. Gibling. 1978. The Silurian-Devonian clastic wedge of Somerset Island, Arctic Canada, and some regional paleogeographic implications. - *Sediment. Geol.*, 21: 85-127.
- Pettijohn, F., P. Potter. 1964. Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures. Springer-Verlag, 370 p.
- Ramos, A., A. Sopena. 1983. Gravel bars in low-sinusoity streams (Permian and Triassic, central Spain) – In: *Modern* and Ancient Fluvial SystemsI. (Eds. Collinson, J. D. and J. Lewin), Int. Assoc. Sediment., Spec. Publ., 6, 301-312.
- Simons, D. B., E. V. Richardson, C. F. Nordin. 1965. Sedimentary structures genereted by flow in alluvial chanels. – In: *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation1.* (Ed., Middleton, G.), Soc. Econ. Paleontol. Miner., Spec. Publ. 12, 34-52.

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

ПЕТРОЛОЖКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ХИПОАБИСАЛНИТЕ МАГМАТИТИ В РАЙОНА НА ВЪРБИШКА СТАРА ПЛАНИНА

Бануш Банушев

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

РЕЗЮМЕ. Изследвани са слабо изучени и с ограничено разпространение малки интрузивни тела и дайки, от северните и южни склонове на Върбишка Стара планина. Определено е пространственото положение на скалите, веществения състав, структурно-текстурните особености и хидротермалните промени. Според съвременната петрографската номенклатура изследваните интрузивни тела и дайки са кварцдиоритови, субалкални диоритови и субалкални кварцдиоритори порфирити, прехождащи в монцодиоритови и кварцмонцодиоритови порфирити при увеличаване количеството на Кфелдшпат. Магматитите са внедрени сред горнотриаски алевролити и пясъчници на флишката, по-рядко в мергелно-варовиковата и мергелната задруга, в единични случаи и в долно- и средноюрски наслаги. Скалите са преситени на SiO₂, среднокалиеви, с преобладание на Na₂O над K₂O, с калциево-алкална и висококалиево калциево-алкална сериалност. Определен е химизмът на скалообразуващите плагиоклази, амфиболи, клинопироксени и биотит, извършени са геотермобарометрични разчети и е изказано предположение за P-T условията на кристализация. Направени са петрохимични сравнения със сходни, малки интрузивни тела и дайки, с аналогични веществени характеристики, намиращи се в непосредствена близост, в района на Ришкия проход.

PETROLOGIC CHARACTERISTICS OF THE HYPABYSSAL MAGMATITES FROM THE REGION OF VARBITSA STARA PLANINA MOUNTAIN (BALKAN MOUNTAIN)

Banush Banushev

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

ABSTRACT. Objects of study are not enough analyzed and with local distribution small intrusive bodies and dykes in the northern and southern slopes Varbitsa Balkan Mountain. Determined is the spatial position of these rocks as well as their composition, structure-textural features and the hydrothermal alterations. According to the modern petrographic nomenclature the studied intrusive bodies and dykes are quartz-diorite, subalkaline diorite and subalkaline quartz-diorite porphyrites changing to monzodiorite and quartz-monzodiorite porphyrites with the increase of the K-feldspar content. The magmatites are intruded in Upper Triassic siltstones and sandstones of the flysch, rarely of the marl-limestone and marl suits and in single cases also in the Lower and Middle Jurassic depositions. The rocks are oversaturated in SiO₂ and are medium-K with prevalence of Na₂O over K₂O with calc-alkaline and high-potassium calc-alkaline series. The chemical composition of the rock-forming plagioclases, amphiboles, clinopyroxenes and biotite were determined. Geo-thermobarometric calculations were performed and on their basis the P-T conditions of crystallization were proposed. A petrochemical correlation with similar small intrusive bodies and dykes with analogous composition and situated nearby the region of Rish pass was also performed.

Въведение

Източна Стара планина, в частност Върбишка планина се характеризира със слаба магмена активност и незначително разпространение на магмените продукти. Въпреки това районът представлява интерес за изясняване на някои аспекти, касаещи геодинамичната позиция, еволюцията и миграцията на горнокредния магматизъм в областта. Магмените продукти са представени от дайки и малки хипоабисални тела. Те са слабо изучени и сведенията за тях са оскъдни. Най-често са възприемани като андезити (Златарски, 1905; Kockel, 1929; Коен, 1938; Бончев и др., 1957; Ганев, 1961). В изследване, посветено на медитеранския тип Горна Креда в Източна Стара планина, Кънчев (1966) съобщава за диоритови порфирити западно от Трънашката синклинала. Въз основа на пространственото положение и тектоностратиграфската обстановка се предполага, че интрузивните скали и намиращите се в близост вулканити от Трънашката синклинала, са продукт на едно и също магмено огнище. За центрове на магмената дейност се

ограничен брой химични анализи, магмените скали в района са определени като диоритови порфирити и кварцсиенодиоритови порфирити. Според стратиграфското положение на вулканитите в горнокредния разрез на Трънашката синклинала е установено, че магмената дейност в района е осъществена в интервала късен Ценоман – ранен Кампан (Кънчев, 1966). В последните години са извършени геохимични и изотопни изследвания в Източното Средногорие и на образци от района на селата Заимчево и Звезда в Източния Балкан (Georgiev et al., 2009; 2012). Дайките и магме-

образци от раиона на селата Заимчево и Звезда в Източния Балкан (Georgiev et al., 2009; 2012). Дайките и магмените тела от билните части и северните склонове на Източна Стара планина не са били обект на тези изследвания. Банушев (2013) представя нови данни за магмати-

възприемат районите на разпространение на телата и

дайките от диоритови порфирити. Първото петрографско изследване, посветено на интрузивните скали между

селата Веселиново и Звезда, е на Кънчев, Иванова-

Панайотова (1972). Въз основа на микроскопски и



Фиг. 1. Геоложка карта на района южно от с. Веселиново, Източна Стара планина (по Кънчев, 1993, с допълнения): 1-2 Палеоген: 1 – конгломератна задруга, 2 – пясъчникова и варовикова задруга; 3-6 Горна Креда: 3 – магмени скали - тела и дайки, 4 – флишка задруга (Ценоман-Турон), 5 – пачки от андезитови лавобрекчи и туфи, 6 – пясъчникова задруга (Ценоман); 7 Камчийска свита (Валанжин-Барем), 8-9 Юра: 8 – флишка задруга (Средна Юра), 9 – конгломератно-пясъчникова задруга (Долна Юра); 10-12 Триас: 10 – флишка задруга (Горен Триас), 11 – мергелна задруга (Горен Триас), 12 – обединени варовикова (Среден-Горен Триас), мергелноваровикова (Среден Триас) и варовиково-мергелна задруга (Долен Триас), 13 – разлом, 14 – навлак

тите от района на Ришкия проход и първи сведения за химизма на скалообразуващите минерали.

Обект на настоящата работа са малки интрузивни тела и дайки от билните части, северните и южни склонове на Върбишка Стара планина, Ю-ЮИ от с. Веселиново. Целта на публикацията е да представи резултатите от петроложките изследвания на магматитите, първите данни за химизма на скалообразуващите минерали и петрохимичните сравнения с намиращите се в непосредствена близост магматити от района на Ришкия проход.

Геоложка обстановка

Районът на Върбишка Стара планина се отнася към Балканската орогенна система на Апийския ороген. Източнобалканската единица, част от която е изследваният район, представлява сложно устроен синклинорий, деформиран от северновергентни навлаци и възседи (Дабовски, Загорчев, 2009). В областта се разкриват триаски, юрски, горнокредни и палеогенски скали (фиг. 1).

Литоложкият състав на долно-среднотриаските седименти включва варовици и мергели, обособени в няколко задруги. Горният Триас е представен от мергелна и флишка задруга – алтернация от ритмично редуващи се мергели, алевролити, пясъчници и конгломерати. Юрските наслаги са обособени в конгломератно-пясъчникова и

флишка задруга, включваща турбидитни пластове от пясъчници, алевролити, варовици и аргилити със сидеритни, рядко фосфоритни конкреции (Кънчев, 1995). Долнокредните наслаги са представени от мергели с турбидитни пластове от пясъчници. Горнокредната серия включва пясъчникова задруга (Ценоман), и флишка задруга (Ценоман-Турон), изградена от ритмична алтернация на варовити глини, пясъчници и алевролити, на места в западната част на Трънашката синклинала с лавови потоци от андезити, лавобрекчи и пирокластити (Кънчев, 1995). Палеогенът се разкрива в северните части на района, под формата на ивица с изток-западна посока. Той включва пясъчникова, варовикова и конгломератна задруга. Седиментите на конгломератната задруга, първоначално описани като "екзотични конгломерати" 1927), (Kockel, включват полигенни, несортирани конгломерати (с разнообразни късове от магмени, седиментни и метаморфни скали) и едрозърнести пясъчници, в по-малка степен алевролити и мергели.

Материал и методи

Извършени са теренни изследвания и опробване на 5 магмени тела (едно, от които установено при настоящите изследвания) и 17 дайки от горнокредни магмени скали в района Ю-ЮИ от с. Веселиново. Лабораторните методи включват оптическа микроскопия на 46 образеца, 4 рентгеноструктурни, 21 микросондови и 14 химични анализа. Определен е разтворим компонент на 6 образеца от вместващите седиментни скали. Съставът И структурните особености на скалите са изяснени с поляризационни микроскопи Leitz Orthoplan-Pol и Meiji Techno. Рентгеноструктурните изследвания ca осъществени с дифрактометър ДРОН-1 (СиКа лъчение, Ni филтър, 30 kV, 20 mA). Химизмът на минералите е определен с микросондови анализи 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 апарати – SPECTRO Analytical instruments (Germany) и оптико-ICP-OES-720, емисионен спектрометър Agilent Technologies, с източник на възбуждане индуктивно свързана плазма (Аналитици – Г. Стоянова и Д. Драгоева).

Резултати

Петрографска характеристика. Магмените скали са под формата на малки интрузивни тела и дайки от кварцдиоритови, субалкални диоритови и субалкални кварцдиоритови порфирити, монцодиоритови и кварцмонцодиоритови порфирити (фиг. 2,а-g). Телата са изометрични, до слабо удължени, с видими размери около 50x100 до 200x600 m.

Дайките са с преобладаваща ориентировка СЗ-ЮИ и дебелина 1-20m. Размерите на някои са значително поголеми – дебелина до 80-100 m и дължина 1000 m (Кънчев, 1995). В някои дайки и окрайни части на телата се наблюдава добре изразено призматично напукване и сферично



Фиг. 2. а-с Интрузивни тела: а-б – СЗ от вр. Асара, с – З от вр. Дебелец; d – субвертикална дайка с призматично напукване; e – дайка, З от вр. Дебелец; f – сферично изветряне на кварцдиоритови порфирити; g – контакт между монцодиоритпорфиритова дайка и вместващи варовити алевролити; h-i – ивичести хорнфелзи, СЗ от вр. Дебелец (h), Кавалджи дере (i)

изветряне (фиг. 2,d,f).

Магматитите са вместени в горнотриаски алевролити и пясъчници на флишката задруга, по-рядко в мергелноваровиковата и мергелната задруга (фиг. 1). Единични дайки са внедрени в долноюрски конгломерати и пясъчници (южните части на района) и в среднноюрски флишки наслаги (северни части).

Алевролитите са варовити, кафяви, зеленокафяви и тъмносиви до черни, с финослоеста текстура и алевритна структура. На места в приконтактните части с магмените скали са уплътнени И темперирани, но без прекристализация на материала. със запазена слоеста текстура. Характерно е многократното редуване на слоеве, с дебелина 1-2 mm от дребно- и едрозърнести алевролити, с различно съдържание на калцит и глинести минерали. Кластичният компонент е незаоблен и полузаоблен, с изометрична и удължена форма, с преобладаващи размери 0,02-0,06 mm, вариращи в различните слоеве. Представен е от минерални зърна (кварц, мусковит, биотит, плагиоклази), на места субпаралелно ориентирани и редки скални късове от кварцити. Разтворимият компонент е от 28 до 44%. Циментът е от микрозърнест калцит и глинести минерали, малко хлорит и органично вещество. Черните алевролити са с аналогичен състав, пигментирани от фино диспергирано органично вещество, на места и от Fe-хидроксиди, процепени от късни калцитни жилки. В дребнозърнестите варовити алевролити се наблюдават кафяви калцитни конкреции с размери 2-3 ст. Вариращото количество кластични минерали и калцит обуславят преходи и фино редуване на варовити алевролити и алевритни варовици.

Пясъчниците са варовити, по-рядко слабоваровити, слабоалевритни, дребно- до среднозърнести, сиви до тъмносиви, на изветрителна повърхност – кафеникави. Текстурата е слоеста, а структурата дребно- до среднозърнеста псамитна и алевропсамитна. На места са катаклазирани, с натрошени до дребнозърнест агрегат кварцови зърна и процепени от множество различно дебели калцитни жилки. Изградени са от незаоблени и заоблени, несортирани кластични минерали (кварц, Кфелдшпат, плагиоклаз, хлоритизиран биотит и мусковит) и редки скални късове от кварцити, мусковитови шисти и гнайси?, с размери 0,03-2 mm, преобладаващи 0,1-0,5 mm. Разтворимият компонент е 22-43%. Циментът е от микрозърнест калцит от базален и поров тип.



Фиг. 3. Микрофотографии на магмени скали от Върбишка Стара планина: а – субпаралелно ориентирани плагиоклази и амфиболи, +N; b – порфирен плагиоклаз с включение от амфибол, IIN; с – субпорфирен авгит, IIN; d – титанит с включения от апатит, IIN; e-f – диоритови включения в монцодиоритов порфирит, +N; g – метасоматичен биотит по амфибол в диоритово включение, IIN; h-I – монцодиоритов порфирит със заграбени късове от варовити алевролити (AI), i – +N; a, e, i – бинокулярен стереомикроскоп Olympus с поляризатор, b-d, f-g – поляризационен микроскоп, h – естествена повърхност

На места, послойно, или незакономерно се наблюдават Fe-хидроксиди и неравномерно разпределено органично вещество. В зависимост от състава са определени като дребно- до среднозърнести аркозови ваки. В случаите, в които матриксът намалява под 15% скалите бележат преходи към аркозови аренити.

В приконтактните части с магмените тела и по-големите дайки, алевролитите са темперирани и уплътнени, на места превърнати в хорнфелзи. Преходът към хорнфелзи се осъществява с намаляване количеството на калцита и увеличаване на микрозърнестия кварц, който от отделни лещи и неправилни по форма тела, постепенно преминава в издържани слоеве. В състава на хорнфелзите участват микро- до криптозърнест кварц, плагиоклази, хлоритизиран биотит, хлорит и неравномерно разпределен карбонат. Най-често прекристализацията на материала е непълна, без достигане до типична микрогранобластна структура. На места се наблюдават хорнфелзи с ивичеста текстура, обусловена от редуващи се сиви и тъмносиви ивици, с различно и неравномерно съдържание на карбонат – от 5 до 30%, което най-вероятно е унаследено от протолита (фиг. 2 h). В южните части на района, около най-голямото тяло, в района на Кавалджи дере, се разкриват хорнфелзи, с редуващи се сивозеленикави и кафявовиолетови микрозърнести и дребнозърнести ивици (Фиг. 2i). В тези части хорнфелзите са с по-пълна и цялостна прекристализация. Структурата е микрогранобластна, бластоалевритна и бластопсамитна Микрозърнестите ивици, с вероятен протолит алевролити, са изградени от микрозърнест кварц, клинопироксен, хлорит, калцит и рудни минерали. В състава на дребнозърнестите ивици, с протолит алевролит – дребнозърнест пясъчник участват кварц, в по-малка степен плагиоклази, К-фелдшпати, клинопироксени, калцит и Fe-хидроксиди.

Магмените скали са сивозелени, с масивна текстура, порфирна и гломеропорфирна структура. Изградени са от магматични плагиоклази, амфиболи, биотит. клинопироксени, К-фелдшпат, кварц, апатит, циркон, титанит, аланит, магнетит и вторични – хлорит, карбонат, дребнолюспеста бяла слюда (серицит), албит, кварц, епидот, К-фелдшпат, биотит, клинопироксени, глинести минерали и Fe-хидроксиди. Фенокристалите (плагиоклази, амфиболи, биотит и клинопироксени), често са с добре субпаралелна ориентировка (фиг. изразена 3a). Количеството им е от 15-20% в периферните части, до 45% в централните части на телата и по-дебелите дайки. Съотношението плагиоклази/мафични минерали е от 70/30 до 60/40. Плагиоклазите са ясно зонални, в две генерации

- порфири (1,5x5 mm, до 4x8 mm) и субпорфири (с преобладаващи размери 0,1x0,4 mm). Някои кристали са протокластично огънати. Те са сравнително свежи, до частично (най-често концентрично-зонално) заместени от дребнолюспеста бяла слюда, глинести минерали, карбонат, рядко хлорит, на места и албит. Съдържат включения от амфибол, биотит и иглест апатит (фиг. 3,b). Амфиболите са порфирни (до 0,6 x 2 mm) и субпорфирни (около 0,1 x 0,3 mm), дългопризматични, заместени от хлорит, карбонат и малко епидот, с отделени Fe-Ti минерали и Fe-хидроксиди. Свежите кристали показват зонален строеж и ясен плеохроизъм по схемата Z > Y > X. На места съдържат включения от плагиоклази и апатит. Биотитът е представен от редки хлоритизирани, мусковитизирани и карбонатизирани субпорфири. Свежите кристали са силно плеохроитни, по схемата $Z \cong Y > X$, светложълт и светлокафяв по Х, до наситено тъмнокафяв по Z = Y. Клинопироксените са най-редки. Установени са в по-базичните представители от южните части на района, в магмените тела около вр. Асара и Кавалджи дере. Те са зонални, призматични с размери до 0,5x1 mm (фиг. 3,c). Заместват се частично по периферията и по пукнатини от карбонат и хлорит-смектитов агрегат. Акцесорните минерали са от апатит (в две генерации – дебелопризматичен, до 0,3x1 mm и иглест), циркон, клиновидни титанитови кристали (някои с включения от апатит), аланит и магнетит (фиг. 3.d). В субалкалните разновидности количеството на акцесорния апатит и титанит се увеличава. Основната маса, с микропризматичнозърнеста, по-рядко микрографична структура е пълнокристалинна, дребнозърнеста, изградена от плагиоклази, амфиболи, Кфелдшпат, редки клинопироксени, апатит, вторичен кварц и рудни минерали. Към периферните части на дайките размерите на минералите намаляват и плагиоклазите от дребнозърнести, призматични, преминават в микролити. На места се наблюдават неравномерна карбонатизация и хлоритизация, ксеноморфни агрегати от карбонат и кварц и Fe-хидроксиди около сулфидни минерали. кварцдиоритовите порфирити от северните части на района се установяват фенокристали от магматично кородиран кварц, с размери до 2 mm. Появата на Кфелдшпат в основната маса, бележи преход към субалкални диоритови порфирити, а увеличаването на Кфелдшпат над 10% - към монцодиоритови и кварцмонцодиоритови порфирити, при наличие и на кварц над 5%.

В някои субалкални диоритови и монцодиоритови порфирити се установяват включения от диорити и микродиорити, с размери 0,5-3 cm (фиг. 3,e-f). Включенията са с резки контакти, пълнокристалинни, равномернозърнести, дребно- до среднозърнести. Изградени са от плагиоклази, амфиболи, редки биотитови кристали, единични кварцови зърна, апатит и магнетит. В някои диоритови включения, амфиболите са заместени по пукнатини и в периферните части от дребнолюспест биотит (фиг. 3g). Наличието на метасоматичен биотит във включенията и отсъствието му във вместващите скали, е резултат на високотемпературна К-метасоматоза, осъществена, най-вероятно в късномагматичния стадий на интрузивно тяло с диоритов състав, части, от което са заграбени, частично усвоени и изнесени към повърхността. Установени са и единични, дребни (около 5 mm) ксенолити от биотитови гнайси. На места в окрайните части, някои

дайки съдържат множество заграбени късове (до 30%), с преобладаващи размери от 3-6 mm до 1-2 cm от вместващите варовити алевролити и варовици (фиг. 3,h-i).

В литературата са описани постепенни преходи от диоритови порфирити в окрайните части на телата към кварцсиенодиоритови порфирити в централните (Кънчев, Иванова-Панайотова, 1972). Настоящите изследвания показват, че в повечето случаи се касае за еднородни дайки от кварцдиоритови. субалкални диоритови и субалкални кварцдиоритови порфирити. Същото се отнася и за интрузивните тела. Само в най-голямото тяло, в района на Кавалджи дере, към централните части се наблюдават постепенни преходи към по-кисели и поалкални разновидности. В южните части на района (около вр. Асара), се установяват по-базични представители, в които количеството на мафичните минерали се увеличава и е приблизително равно на плагиоклазите, появяват се и клинопироксени.

Таблица 1.

•p			00000000	• - p	•,•			
порфирит; S QDp – субалкален кварцдиоритов								
порфирит, Qdp – кварцдиоритов порфирит.								
Ска-	Ска- SDp SQDp QDp							
ла								
Обра-	54-1-	54-1-	60-1-	60-1-	33-1-	33-1-	49-1-	49-1-
зец	1c	2r	7c	8r	11c	12r	15c	16r
SiO ₂ ,	58,41	54,39	58,85	63,57	54,64	61,44	58,23	58,63
TiO ₂ ,	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,04
Al ₂ O ₃ ,	26,13	28,08	26,20	22,77	29,16	24,91	26,68	26,31
FeO ^(t) ,	0,20	0,49	0,13	0,18	0,22	0,28	0,12	0,08
MnO,	0,11	0,29	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03
MgO,	0,20	0,82	0,20	0,23	0,19	0,10	0,16	0,19
CaO,	6,41	8,77	6,43	3,05	10,08	5,67	7,01	6,66
Na ₂ O,	7,51	5,67	7,52	9,89	5,35	6,82	7,25	7,48
K2O,	0,57	0,54	0,60	0,26	0,29	0,69	0,47	0,54
BaO,	0,37	0,85						
Total	99,91	99,90	99,96	99,97	99,96	99,94	99,96	99,96
An,	31,0	44,6	31,0	14,3	50,1	30,1	33,9	32,0
Ab,	65,7	52,1	65,6	84,2	48,2	65,5	63,4	65,0
Or,	3,3	3,3	3,4	1,5	1,7	4,4	2,7	3,0

Представителни микросондови анализи на плагиоклази: с – ядро, r – периферия, S Dp – субалкален диоритов

Хидротермални изменения. Вторичните промени на скалите в северните части на района се характеризират с неравномерна и слабо изразена пропилитизация, с типоморфна минерална асоциация хлорит, епидот, карбонат и албит. Локално, около тектонизирани зони е развит аргилизитов тип изменение, с хидротермална минерална асоциация главно от монтморилонит и илитмонтморилонит, които заместват в различна степен фенокристалите и минералите от основната маса. Хидротермални изменения на скалите от южните части, са vстановени в най-голямото тяло, в района на Кавалджи дере. Изразяват се в слаба К-фелдшпатизация, с вторична минерална асоциация от дребнолюспест метасоматичен биотит, развит в периферните части и по пукнатините на амфиболите и клинопироксените, дребнозърнест магнетит, вторичен клинопироксен (около амфиболите, на места и като къси неиздържани жилки) и К-фелдшпат в основната маса.

Химизъм на минералите. Плагиоклазите варират по със-

Таблица 2.

Представителни микросондови анализи на амфиболи: с – ядро, r – периферия. Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺)

Скала	S Dp		S QDp		QDp			
Образец	54-2-3c	54-2-4r	60-2-9c	60-2-10r	33-2-13c	33-2-14r	49-2-18c	49-2-19r
SiO ₂ ,	41,01	41,11	40,22	41,48	43,93	42,98	44,42	41,93
TiO ₂ ,	1,54	1,64	2,07	1,43	1,72	1,64	1,05	1,60
Al ₂ O ₃ ,	12,31	12,06	13,11	14,42	10,52	10,79	10,87	12,11
FeO ^(t) ,	15,33	15,66	15,42	12,02	15,72	16,52	15,81	16,70
MnO,	0,85	0,82	0,33	0,11	0,25	0,52	0,77	0,56
MgO,	10,48	10,67	10,94	13,13	11,12	10,80	10,95	9,93
CaO,	11,12	11,21	12,96	12,06	11,93	11,91	11,18	11,66
Na ₂ O,	2,54	2,43	1,99	2,50	1,61	1,97	2,06	2,27
K ₂ O,	1,60	1,49	1,12	1,01	1,30	0,95	0,89	1,25
BaO,	1,23	0,94						
Total,	98,01	98,03	98,16	98,16	98,10	98,08	98,00	98,01
Mg#,	0,60	0,62	0,59	0,74	0,59	0,59	0,62	0,55
	Pargasite	Mg-hastingsite	Pargasite	Pargasite	Edenite	Mg-hastingsite	Edenite	Pargasite

тав от олигоклаз-андезин (An_{14.3-31.0}) до андезин-лабрадор (Ап_{30.1-50.1}) (табл. 1). Анортитовото съдържание постепенно се увеличава от субалкалните кварцдиоритови порфирити, субалкалните диоритови КЪМ порфирити И кварцдиоритовите порфирити. Плагиоклазите са С нормална зоналност - анортитовото съдържание намалява от централните към периферните части на кристалите, съответно от An_{50.1} до An_{14.3}. Изключение прави интрузивното тяло северозападно от вр. Асара, в което плагиоклазите са обратно зонални – Апз1.0 в централните до An_{44.6} в периферните (табл. 1), което може да се дължи на процеси на смесване на магми.



Фиг. 4. Класификационна диаграма на Leake et al. (1997), с разположение на фигуративните точки на амфиболи от магмени скали от Върбишка Стара планина

Според класификационната схема на Leake et al. (1997) амфиболите са калциеви – паргасит, магнезиохейстингсит и еденит (фиг. 4). Паргаситът се установява в субалкалните диоритови и субалкалните кварцдиоритови порфирити, по-рядко в кварцдиоритовите порфирити, а еденитът е характерен за кварцдиоритовите порфирити. Магнезиохейстингсит се среща както в субалкалните, така и в нормалноалкалните разновидности (табл. 2). Мg# съотношение е между 0,55 и 0,74, преобладаващо – 0,60. Установената микроскопски зоналност се потвърждава и от микросондовите анализи, при които с изключение на някои тела от южните части на района се наблюдава намаляване на MgO и увеличаване на FeO и Na₂O към периферните части на кристалите.

Таблица 3.

Представителни	микросондови	анализи	на
клинопироксени и би	ютити: с – ядро,	r – периферия,	Mg#
$= Ma/(Ma+Fe^{2+})$			

	Клинопи	роксени	Биотити						
Скала	S	Dp	QDp						
Образец	54-3-5c	54-3-6r	48-1-20	48-1-21					
SiO ₂	54,55	52,94	37,85	39,11					
TiO ₂	0,09	0,28	3,83	3,57					
Al ₂ O ₃	2,55	3,87	16,08	15,82					
FeO ^(t)	5,88	7,07	15,26	14,44					
MnO	0,26	0,27	0,51	0,48					
MgO	16,00	14,21	13,11	13,34					
CaO	19,33	20,39	0,03	0,00					
Na ₂ O	0,89	0,91	0,39	0,00					
K ₂ O	0,02	0,04	8,96	9,27					
Total	99,57	99,98	96,02	96,03					
Mg#	0,83	0,78	0,60	0,62					
Wo	40,25	42,88							
En	46,37	41,59							
Fs	10,03	12,07							
Ac	3,35	3,46							

Клинопироксените са с добре изразен зонален строеж. Според класификацията на Morimoto (1983) те са авгити (фиг. 5). Съставът в централните им части е Wo_{40.2}En_{46.3}, а в периферните – Wo_{42.8}En_{41.5}. Съдържанията на Al₂O₃, FeO и CaO нарастват, а на MgO и параметърът Mg# намаляват от централните към периферните части на кристалите (табл. 3). Магнезиалното съотношение Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺) е 0,78-0,83 и съответства на сравнително високи температури на кристализация.



Фиг. 5. Класификационна диаграма на Morimoto (1983), с фигуративни точки на клинопироксени от магмени скали от Върбишка Стара планина
Химизмът на биотитите е отразен в таблица 3. На диаграмата Fe/(Fe + Mg) – [№]АI те попадат в полето на биотита, на границата с флогопита. Магнезиалното съотношение е между 0,60 и 0,62 (табл. 3).

Петрохимични особености. На класификационната диаграма на Богатиков и др. (1981), изследваните интрузивни тела и дайки попадат в полетата на кварцдиоритовите, субалкалните диоритови и субалкалните кварцдиоритори порфирити (фиг. 6). SiO₂ варира от 55,98 до 63,81%, като най-ниски съдържания се отбелязват в интрузивното тяло северозападно от вр. Асара (табл. 4). Наблюдава се тенденция за постепенно увеличаване на SiO₂ от южните към северните части на района. Скалите са преситени на SiO₂, среднокалиеви, с преобладаване на Na₂O над K₂O, като съотношението K₂O/Na₂O е между 0,40 и 0,61. Коефициентът аl' от 1,72 до 3,48. Пералкалният индекс е между 0,46 и 0,57 (табл. 4). На диаграмата K₂O-SiO₂ фигуративните точки на кварцдиоритовите порфирити почти изцяло попадат в полето на калциево-алкална серия, а субалкалните разновидности са с висококалиево калциево-алкална сериалност (фиг. 7).

Таблица 4.

Химичен състав (wt %) на магмени скали от района на Върбишка Стара планина; K/Na = K_2O/Na_2O ; al $= Al_2O_3/(Fe_2O_3 + FeO + MqO)$; PI=Na₂O + K_2O/Al_2O_3 (mol).

				11012 0		o(o .).								
Обра-	EB 28-	EB 29-	EB 15-	EB 11-	EB 16-	EB 26-	EB 6-	EB 5-	EB 13-	EB 16-	EB 14-	EB 3-	EB 34-	EB 37-
зец	54 S	55 S	36 N	29 N	37 N	51 S	23 N	22 N	33 N	48 N	34 N	16 N	60 S	63 S
Скала	ала S Dp			QDp							S QDp			
SiO ₂	55,98	56,65	57,42	61,04	61,13	61,30	61,41	61,82	62,86	63,31	63,52	63,81	61,10	62,83
TiO ₂	0,56	0,58	0,54	0,45	0,40	0,41	0,44	0,38	0,39	0,33	0,35	0,38	0,38	0,37
Al ₂ O ₃	17,86	17,54	16,94	17,10	17,98	18,07	17,91	17,95	17,24	17,24	17,38	18,02	18,15	18,26
Fe ₂ O ₃ t	6,98	6,48	6,96	5,11	4,55	4,52	4,42	3,81	4,04	3,40	3,42	3,75	4,58	3,85
MnO	0,13	0,12	0,11	0,16	0,12	0,09	0,14	0,10	0,08	0,11	0,06	0,12	0,07	0,12
MgO	2,81	2,98	2,90	1,66	1,47	1,97	1,48	1,74	2,08	1,65	1,58	1,78	1,60	1,78
CaO	6,30	6,54	6,05	4,99	5,36	5,01	5,05	4,93	4,34	4,42	4,07	3,42	4,71	3,59
Na ₂ O	4,22	4,29	3,76	3,71	4,27	3,78	4,34	4,32	4,33	4,52	4,33	4,04	4,54	4,36
K ₂ O	1,68	1,86	1,93	2,25	2,00	1,99	2,08	2,13	2,40	2,19	2,41	2,27	2,21	2,52
P ₂ O ₅	0,34	0,36	0,23	0,21	0,22	0,28	0,23	0,19	0,37	0,34	0,33	0,20	0,25	0,29
SO₃	0,57	0,42	0,15	0,66	0,03	0,03	0,23	0,15	0,09	0,03	0,03	0,22	0,42	0,03
LOI	2,46	1,97	2,87	2,55	2,27	2,38	2,38	2,38	1,96	2,15	2,45	1,94	2,06	1,78
Total	99,89	99,79	99,86	99,89	99,80	99,83	100,11	99,90	100,18	99,69	99,93	99,95	100,07	99,78
K/Na	0,40	0,43	0,51	0,61	0,47	0,53	0,48	0,49	0,55	0,48	0,56	0,56	0,49	0,58
al'	1,82	1,85	1,72	2,53	2,99	2,78	3,04	3,23	2,82	3,41	3,48	3,26	2,94	3,24
PI	0,49	0,52	0,49	0,50	0,51	0,46	0,52	0,52	0,56	0,57	0,56	0,51	0,54	0,54



Фиг. 6. Класификационна диаграма (Богатиков и др., 1981) с разположение на фигуративните точки на магмени скали от района на Върбишка Стара планина (черни точки) и Ришки проход (празни точки)

Условия на кристализация. За определяне Р-Т условията на кристализация на хипоабисалните интрузиви от Върбишка Стара планина е използван химизма на амфиболови плагиоклазовите и фенокристали. Температурите са определени по амфиболплагиоклазовия геотермометър на Blundy, Holland (1990) и Holland, Blundy (1994), а налягането е оценено по амфиболовия геобарометър на Schmidt (1992) и Anderson & Smith(1995).

Температурите на кристализация между двата геотер-



Фиг. 7. Диаграма на Peccerillo, Taylor (1976) с разположение на магмени скали от района на Върбишка Стара планина (плътни символи) и Ришки проход (празни символи). Серии: СА – калциево-алкална; НКСА – висококалиево калциево-алкална

Таблица 5.

Термобарометрични данни от амфибол-плагиоклазови двойки. BH – Blundy, Holland (1990); HB – Holland, Blundy (1994); S – Schmidt (1992); AS – Anderson & Smith(1995)

Скала	T° C		P kb
Кварцдиоритов	BH 750°-780°	S	5,7-7,2
порфирит	HB 710°-750°	AS	5-6
Субалкален	BH 790°-850°	S	7,2-7,5
диоритов порфирит	HB 780°-830°	AS	4-5
Субалкален	BH 800°-810°	S	7,8-8,8
кварцдиоритов порфирит	HB 760°-780°	AS	6-7

мометъра са съпоставими, като при геотермометъра на Holland, Blundy (1994) те са малко по-ниски (табл. 5). Сравнявайки Р-Т условията, следва да се отбележи, че субалкалните разновидности се характеризират с повисоки температури на кристализация (табл. 5).

Заключение

Магматитите от Върбишка Стара планина са под формата на малки интрузивни тела и дайки внедрени в седиментите на горния Триас, по-рядко в долно- и средноюрски наслаги. Според съвременната петрографска номенклатура, те са кварцдиоритови, субалкални диоритови и субалкални кварцдиоритови порфирити, прехождащи в монцодиоритови и кварцмонцодиоритови порфирити с увеличаване количеството на К-фелдшпат. Скалите са преситени на SiO₂, среднокалиеви, високоалуминиеви, с преобладание на Na₂O над K₂O, калциево-алкална и висококалиево калциево-алкална сериалност.

Изследванията показват, че в повечето случаи се касае за интрузивни тела и дайки с еднороден състав. Изключение прави най-голямото тяло, в района на Кавалджи дере, в което от периферните към централните части се наблюдават постепенни преходи към по-кисели и по-алкални разновидности. Веществените характеристики на изследваните включения в магматитите, предполагат за наличие на интрузивно тяло в дълбочина с диоритов състав, подложено на високотемпературна К-метасоматоза, осъществена най-вероятно в късномагматичния стадий, части от което са заграбени, частично усвоени и изнесени към повърхността.

За разлика от скалите в района на Ришкия проход, които са предимно диоритови и субалкални диоритови порфирити, с модални клинопироксени, някои и оливин, магматитите югоизточно от с. Веселиново са по-кисели и поалкални, по-високоалуминиеви и с по-висок пералкален индекс от тези в Ришкия проход. Най-вероятно тези особености се дължат на еволюционни процеси (диференциация осъществена с малък размах) към по-кисели и алкални магмени типове, а някои веществени характеристики не изключват и процеси на смесване на магми.

Литература

- Банушев, Б. 2013. Нови данни за магматизма в района на Ришкия проход, Източна Стара планина. – Год. МГУ, 56, Св. I – Геология и геофизика, 58-64.
- Богатиков, О. А., Н. П. Михайлов, В. И. Гоньшакова (ред.). 1981. Классификация и номенклатура магматических горных пород. М., Недра, 160 с.
- Бончев, Е., Е. Белмустаков, М. Йорданов, Ю. Карагюлева. 1957. Главните линии в геоложкия строеж на Предбалкана между долината на Янтра и Черно море. – Изе. Геол. инст., 5, 3-78.
- Ганев, М. 1961. Стратиграфия на триаса от Лудокамчийския дял на Източна Стара планина. – *Тр.* геол. Бълг. Сер. Стратигр. и тект., 5, 3-78.
- Дабовски, Х., Ив. Загорчев. 2009. Въведение: Мезозойска еволюция и алпийски строеж. – В: Загорчев, И., Х.

Дабовски, Т. Николов, (ред). 2009. Геология на България. Том II. Мезозойска геология. С., Акад. изд. "Проф. Марин Дринов", 13-37.

- Златарски, Г. 1905. Сенонските образувания в Източния и отчасти в Централния Балкан и на юг от тая планина. – *Период. сп. Бълг. книжовно д-во,* 66, 113-125.
- Коен, Е. 1938. Общи ориентировъчни профилирания през Източна Стара планина с оглед на петролната геология. – Сп. Бълг. Геол. д-во, 10, 1, 1-34.
- Кънчев, И. 1966. Медитерански тип горна креда в Лудокамчийския дял на Източна Стара планина. – Изе. НИГИ, 3, 15-71.
- Кънчев, И. 1993. Геоложка карта на България. М 1:100000. К. л. Айтос. С.
- Кънчев, И. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България. М 1:100000. К. л. Айтос. С., КГМР, Геология и геофизика, 111 с.
- Кънчев, И., В. Иванова-Панайотова. 1972. Върху присъствието на триас и субинтрузивен магматизъм между селата Веселиново и Звезда, Източна Стара планина. – Сп. Бълг. Геол. д-во, 33, 3, 361-367.
- 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, 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. – Contrib. Mineral. Petrol., 104, 208-224.
- Georgiev S, A. von Quadt, C.A. Heinrich, I. Peytcheva, P. Marchev. 2012. Time evolution of a rifted continental arc: Integrated ID-TIMS and LA-ICPMS study of magmatic zircons from the Eastern Srednogorie, Bulgaria. – *Lithos*, 154, 53-67.
- Georgiev S, P. Marchev, C.A. Heinrich, A. von Quadt, I. Peytcheva, P. Manetti. 2009. Origin of Nephelinenormative High-K Ankaramites and the Evolution of Eastern Srednogorie Arc in SE Europe. – *Journal of Petrology*, 50, 1899–1933.
- Holland, T., J. Blundy. 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 116, 433-447.
- Kockel, C. W. 1927. Zur Stratigraphie und Tektonik Bulgariens Mit einem Beitrag von F. Kossmat. Das Grenzgebiet zwischen östlichen und zentralen Balkan. – Geol. Rundsch., 18, 5, 349-355.
- Kockel, C. W. 1929. Transgressionen und Überschiebungen im Ostbalkan. Geol. Rundsch., 20, 4-5, 319-330.
- Leake, B. E. et al. 1997. Nomenclature of amphiboles. Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and minerals names. – *Canadian Mineral.*, 35, 219-246.
- Morimoto, N. 1988. Nomenclature of pyroxenes. Forschr. Miner., 66, 2, 237-252.
- Peccerillo, A., S. R. Taylor. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.
- Schmidt, M. W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Alin-hornblende barometer. – *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 304-310.

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

ГЕОЛОЖКИ ФЕНОМЕНИ В РАЙОНА НА СОЗОПОЛ И ЧЕРНОМОРЕЦ – СЪСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ

Венелин Желев, Борис Вълчев

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

РЕЗЮМЕ. Районът на градовете Созопол и Черноморец се характеризира с добре разчленена брегова линия, предоставяща отлични условия за експонирането на геоложки феномени с висока естетическа и научна стойност. Тук попадат три геотопа, включени в "Регистър и кадастър на геоложките феномени в Република България" – "Червенка", "Колокита" и "Нос Агалина". Геотоп "Червенка", намиращ се източно от гр. Черноморец, показва взаимоотношенията между ефузивните (Созополска свита) и интрузивните фациеси на Росенската вулкано-плутонична структура. Насечената от красиви фиордообразни заливи брегова линия представя контактите на пресичане на интрузивни, субвулкански и ефузивни скали, прототектониката и началните стадии на сферично (луковично) изветряне на интрузива, блоково-призматично напукване и кавернозно изветряне на вулканитите. Геотопите "Колокита" и "Нос Агалина", развити изцяло в скалите на Созополската свита, представят взаимоотношенията между фациеси от гърлото на Росенския палеовулкан. Най-характерните палеовулканоложки обекти са вулкански брекчи, дайки, хидротермално променени скали, кавернозно изветряне, блоково-призматично напукване, контакти между разнофациални вулкански продукти. В геоморфоложки аспект двата геотота предоставят възможности за наблюдаване на фиордообразни заливи, клифове с височина до 10 m, както и скали пирамиди. Съгласно класификацията на геоложки феномени грите геотопа попадат в групата на обектите с сететическа и научна стойност, а според оригиналната българска методика за оценка на геоложки феномени геотопът "Червенка" и "Нос Агалина" са геотопи с регионално значение. Проведените при настояща ти изследване наблюдения показах, че геотоп "Червенка" и "Нос Агалина" са геотопи с регионално значение. Проведените при настоящото изследване наблюдения показаха, че геотоп "Червенка" е застроен частично, а геотоп "Колокита" – изцяло, което поставя под въпрос техния статут на защитени обекти.

GEOLOGICAL PHENOMENA IN THE AREA OF SOZOPOL AND CHERNOMORETS TOWNS - STATUS AND PERSPECTIVES Venelin Jelev, Boris Valchev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, vjjelev@yahoo.com, b_valchev@mgu.bg

ABSTRACT. The area of Sozopol Town and Chernomorets Village is characterized by well-articulated sea coast line providing excellent conditions for exposition of geological phenomena of high aesthetic and scientific value. Three geotopes, included in "Register and cadastre of the geological phenomena of the Republic of Bulgaria", are exposed here – "Chervenka", "Kolokita" and "Agalina Cape". "Chervenka" geotope is situated east of Chernomorets Town and represents the relationships between effusive (the Sozopol Formation) and intrusive facies of the Rossen volcano-plutonic structure. The sea coast line is articulated by beautiful fiord-like inlets and reveals intersection contacts of intrusive, subvolcanic and effusive rocks, prototectonics and initial stages of spherical (onion-like) weathering of the intrusive, block-prismatic fracturing and vesicular (cavernous) weathering in the volcanic products. "Kolokita" and "Agalina Cape" geotopes, developed entirely in the rocks of the Sozopol Formation, represent the relationships between pre-caldera and caldera facies from the neck of Rossen paleovolcano. The most characteristic paleovolcano objects include volcanic breccias, dykes, hydrothermally altered rocks, vesicular (cavernous) weathering, block-prismatic fracturing, contacts between volcanic materials belonging to different facies. In geomorphological aspect both geotopes reveal good opportunity for observation of fiord-like inlets, cliffs up to 10 m in height, as well as rock pinnacles. According to the classification of the geological phenomena "Chervenka" geotope corresponds to the criteria for geosite of national importance, while "Kolokita" and "Agalina Cape" are geosites of regional importance. The observations, carried out during the present investigation, showed that "Chervenka" geotope is partly built while "Kolokita" geotope is entirely covered by modern buildings. This fact put forward the question about their statute of protected areas.

Увод

Районът на гр. Созопол и Черноморец се характеризира с добре разчленена брегова линия, предоставяща отлични условия за експонирането на геоложки феномени с висока естетическа и научна стойност. В съществуващия "Регистър и кадастър на геоложките феномени в Р България", създаден по проект на МОСВ (1999-2003), изследваният район е представен с досиетата на три геотопа – "Червенка" при с. Черноморец, "Колокита" и "Нос Агалина", намиращи се южно от гр. Созопол. Предвид масовото застрояване на българското черноморско крайбрежие е необходимо стриктното провеждане на периодични наблюдения върху спазването на заповедите за обявяването и защитата на съществуващите природни забележителности, към които се отнасят и геоложките феномени. Настоящата статия има за цел да представи накратко геоложкия строеж на района, да популяризира нови обекти в рамките на трите геотопа, да опише геоложки феномени извън обхвата им, както и да представи данни за степента на застрашеност на защитените обекти.

Данни за геоложкия строеж на района

Стратиграфия. В района се разкриват горнокредни вулкански, вулканогенно-седиментни, интрузивни и субвулкански (жилни и дайкови) скали, неогенски морски седименти и кватернерни континентални (еолични, езерноблатни и алувиални) и морски наслаги (фиг. 1).



Фиг. 1. Геоложка карта на района на геоложките феномени (по Петрова и др., 1992, с изменения) Кватернер (1-4): 1 – алувиални наслаги (чакъли, пясъци и глини); 2 – съвременни морски наслаги (плажни пясъци); 3 – езерно-блатни наслаги (пясъци, глини, торф); 4 – еолични образувания (пясъци); Неоген (Караган–Сармат): 5 – Евксиноградска свита (глини, пясъци, пясъчници); Горна Креда (6-16): жилни и дайкови скали (6-8): 6 – жили от сиенити и кварц-сиенити; 7 – дайки със среден състав; 8 – дайки от алкални базалтоиди и алкални трахити; 9-10 – Росенски плутон: 9 – сиенити и кварц-сиенити, 10 – монцонити; (11-15) – Бургаска група: 11-12 - Созополска свита (11 – туфи, 12 – разливи и силове от алкални трахити); 13-15 – Живизлийска свита (13 – туфи, 14 – разливи и субвулкански тела от алкални трахити, 15 – субвулкански тела от алкални базалтоиди); 16 – Мичуринска група: Тиклитска свита (туфи); 17 - геоложка граница; 18-19 – разломи (18 – разсед, 19 – рудоносен разлом); 20 – ориентировка на слоестостта в стратифицираните скали; 21 - ориентировка на първичните плоскостни структури в магмените скали; 22 – вулкански нек; 23 – местоположение на геотоп; 24 – местоположение на геоложки феномен

Горнокредната серия е представена от Тиклитската, Живизлийската и Созополската свита, както и от Росенския плутон.

Тиклитската свита (Петрова и др., 1980; Петрова, Симеонов, 1989) се отнася към Мичуринската група (Петрова, Симеонов, 1989) и се разкрива като малко петно в югозападната част на района. Тя включва средно- и дебелопластови сивозелени лапилни и пепелни (псамитни) туфи с множество едри кристалокласти от плагиоклаз, пироксен и амфибол. Литокластите са от трахиандезити и латити. Латерално се съчленява с Живизлийската свита. Максималната й дебелина е 500 m.

Живизлийската и Созополската свита се отнасят към Бургаската група (Петрова и др., 1980; Петрова и Симеонов, 1989). Живизлийската свита (Петрова и др., 1980; Петрова и др., 1995) се разкрива в югозападната част на района под формата на ивица с посока СЗ-ЮИ. В състава й вземат участие разнозърнести туфи (бомбени, лапилни и пепелни), дебели лавови потоци, силове и субвулкански тела от алкални трахити (българити) и субвулкански тела от алкални базалтоиди. В долните си части свитата се съчленява латерално с Драчевската и Карталкуската свита (западно от изследвания район), а над нея се разполага Созополската свита, като се предполага, че на контакта между двете свити е внедрен Росенският плутон (Петрова и др., 1994). Дебелината й е около 1250 m.

Созополската свита (Петрова и др., 1980; Петрова и др., 1995) се разкрива в три изолирани петна в източната и северната част на района. Тя включва главно трахитови пилоу-лави, прослояващи се на места от пластове от разнозърнести туфи. Трахитите на Созополската свита се различават от типичните за Бургаската група българити. На външен вид те приличат на андезити и латити. Макроскопски в лавовите потоци се различават два вида трахити. Първият е със сива основна маса и впръслеци от едър плагиоклаз и дребен пироксен, а вторият е със сиворозова основна маса и дребни порфири от плагиоклаз и биотит. Наблюдават се и преходни разновидности. По химизъм тези скали представляват висококалиеви субалкални до алкални трахити. Предполага се, че Созополската свита лежи върху Живизлийската, но контактът между двете е заличен от внедрените по-късно сиенити на Росенския плутон. Созополската свита се покрива от кватернерни наслаги. Дебелината й се изчислява приблизително на 3750 m.

Росенският плутон се разкрива в северозападната, западната и централната част на района под формата на широка ивица с посока ССЗ-ЮЮИ. Възприеман е като конично (Иванов, 1979), силообразно (Петрова и др., 1980) или пръстеновидно (Дабовски, 1988) тяло, внедрено на контакта между Созополската и Живизлийската свита. Изграден е главно от монцонити, сиенити и кварц-сиенити, а от преходните фациеси присъстват монцосиенити и сиеномонцонити. Контактите с вместващите скали са резки. Ендоконтактните зони се маркират от дребнозърнести интрузивни разновидности, набогатени на биотит, пегматитови гнезда, аплитови жили и ксенолити от вместващите вулканити. Жилните сиенити и аплити процепват всички фациални разновидности на интрузива и представляват последните деривати на интрузивната дейност.

Дайковите скали са обединени условно по състав в три групи (Петрова и др., 1995): 1) алкални базалтоиди и трахити, пресичащи само вулканитите в югозападната част на района; 2) среднокисели дайки – трахиандезити и сиенодиоритови порфирити, процепващи както интрузива, така и вулканитите на Созополската свита, и 3) сиенитпорфири, вместени само в скалите на интрузива.

Неогенската система включва Евксиноградската свита (Гочев, 1935; Попов и Коюмджиева, 1987), образувана в Кримо-Кавказкия басейн, заливал тази част от крайбрежната ивица през Миоцена. Тя се разкрива в централната и югоизточната част на района. Изградена е от полигенни конгломерати, глинести и варовити пясъчници, песъчливи и варовити глини, на места набогатени на растителен детритус. Свитата лежи трансгресивно върху горнокредните вулкански и интрузивни скали, а частично се покрива от кватернерни (холоценски) наслаги. Хроностратиграфският й обхват (Караган-Сармат) е определен от Попов и Коюмджиева (1987).

Кеатернерът в района е представен само от холоценски наслаги, поделени на четири литогенетични типа (Петрова и др., 1992, 1994): еолични, езерно-блатни, морски и алувиални седименти.

Еоличните седименти имат ограничено разпространение. Наблюдават се в три малки изолирани петна южно и югоизточно от Созопол, както и в плажните ивици, където формират дюнен релеф. Представени са от неспоени разнозърнести пясъци. Езерно-блатните насла-ги се разкриват в устията на реките западно и южно от Созопол, които са превърнати в лимани. Те включват фини пясъци, песъчливи глини и глини, богати на овъглен расти-телен детритус. На места се установяват и тънки чакълни прослойки. Морските наслаги се отнасят към ниската (Новочерноморска) тераса и формират плажните ивици. Представени са от пясъци, богати на черупков детритус. Алувиалните седименти са свързани пространствено с руслото и ниската речна заливна тераса непосредствено на изток, североизток и север от с. Равадиново. Състоят се от чакъли, пясъци, глинести пясъци и глини.

Тектоника. Геоложките феномени от района на гр. Созопол и с. Черноморец попадат в най-източната част на Средногорската зона и по-точно - в централната част на Росенската вулкано-плутонична структура (фиг. 2), включваща Росенския палеовулкан, мрежа от вулкано-тектонски разломи и свързаните с тях субвулкански тела и дайки, Росенския плутон и рудни жили (Станишева-Василева и Василев, 1981; Василев и др., 1984; Харковска и др., 1989 и др.). В Росенския плутон се наблюдава много ясно развита система от прототектонски структури на разруша-ване, включваща три главни пукнатинни групи. Те са общо взето ортогонални една на друга, като ориентировката им варира в различните части на плутона. Две от групите са субвертикални, като първата е успоредна, а втората – напречна на контактите на плутона. Третата група е субхоризонтална до слабо наклонена на ССИ. В морфоструктурно отношение районът на изследването се намира в центъра на Бургаската пръстеновидна морфоструктура (Попов и Спиридонов, 1990).



Фиг. 2. Схема за строежа на Росенския палеовулкан (по Станишева-Василева и 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 изследваните геотопи

Характеристика на геоложките феномени

Геотоп "Червенка" ("Червенака", "Нос Червенка"). Обявен е за природна забележителност 4051/29.12.1973г. със Заповед № 4051/29.12.1973г. на Министерството на горите и опазване на природната среда. Включва полегатия морски бряг с дължина 1 km северно от къмпинг "Черноморец" (фиг. 3). Непрекъснатите разкрития показват взаимоотношенията между ефузивните (Созополска свита) и интрузивните фациеси на Росенската вулканоплутонична структура. Най-често срещаният феномен са контактите на пресичане на интрузивни, субвулкански и ефузивни скали, които се разкриват в няколко локалитета (фиг. 3, т. 1, 2, 3, 5, 6; табл. І, сн. 2-5). В южната част на геотопа могат да бъдат наблюдавани прототектониката на интрузива (фиг. 3, т. 1, 2; табл. I, сн. 2,6), както и началните стадии на сферично (луковично) изветряне (табл. I, сн. 6,7), а в централната му част изпъкват разкрития с блоковопризматично напукване (фиг. 3, т. 4; табл. I, сн. 7) и кавернозно изветряне (табл. I, сн. 8) на вулканитите. В геоморфо-ложки аспект централната част от бреговата линия в рамките на геотопа е насечена от няколко неголеми фиордообразни залива (фиг. 3, т. 3,4; табл. I, сн. 1), разкриващи допълнително характерни черти от петрологията и тектониката на Росенския палеовулкан.

Според класификацията на геоложките феномени геотопът "Червенка" попада в групата на обектите с естетическа (клас геоморфоложки) и научна стойност (клас вулканоложки), а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени (Синьовски и др., 2002), той е с национално значение.



Фиг. 3. Местоположение на най-характерните разкрития в рамките на геотоп "Червенка"

Съгласно заповедта за обявяване на тази част от бреговата ивица за природна забележителност е забранено всякакво строителство, освен в случаите, когато такова е предвидено в устройствения проект на природната забележителност. Независимо от този факт, в южната и отчасти в централната и северната част на геотопа се наблюдава масивно строителство (фиг. 3; табл. I, сн. 9), което затруднява значително достъпа до бреговата линия и понижава общата му оценка.

"Колокита" Геотоп ("Полуостров Колокита", "Коренята"). Обявен е за природна забележителност със Заповед № 1754/16.06,1970 г. на Министерството на горите и горската промишленост. Обхваща стръмния морски бряг с дължина 5 km между плажовете "Харманите" и "Каваците" южно от Созопол (фиг. 4). Оформен е в скалите на Созополската свита и представя взаимоотношенията между докалдерните и калдерни фациеси от гърлото на Росенския пелеовулкан (Желев, 2014). Найхарактерните палеовулканоложки обекти са вулкански брекчи (фиг. 4, т. 5, 6; табл. І, сн. 12,13; табл. ІІ, сн. 1), дайки (фиг. 4, т. 5, 6; табл. II, сн. 2,3), хидротермално променени вулканити (фиг. 4, т. 3; табл. II, сн. 4), блоковопризматично напукване (фиг. 4, т. 7; табл. II, сн. 5), кавернозно изветряне (фиг. 4, т. 5, 6; табл. II, сн. 6, 7). В скален откос в северозападния край на геотопа се разкрива несъгласието между вулканитите на Созополската свита и седиментите на Евксиноградската свита (фиг. 4, т. 1; табл. II, сн. 8). Бреговата линия е силно разчленена от красиви фиордообразни заливи с височина на клифа до 10 m (табл. II, сн. 9), в някои, от които се наблюдават добре оформени скални пирамиди, високи до 6-7 m (табл. II, сн. 10,11).



Фиг. 4. Местоположение на най-характерните разкрития в рамките на геотоп "Колокита"

Според класификацията на геоложките феномени геотопът "Колокита" попада в групата на обектите с естетическа (клас геоморфоложки) и научна стойност (клас вулканоложки), а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени (Синьовски и др., 2002), приложена при съставянето на досието му (2003), той е с регионално значение.

Подобно на геотоп "Червенка" и в този случай, заповедта за защита забранява всякакво строителство, но в рамките на "Колокита" тя е нарушена грубо – бреговата линия е застроена плътно (фиг. 4; табл. II, сн. 12,13) и на практика достъпът до геоложките феномени е невъзможен (с изключение на района на нос Свети Стефан). По този начин, независимо от общата висока оценка като обект с естетическа и научна стойност, липсата на достъп поставя под въпрос неговия статут на защитена природна забележителност, както и мястото му в "Регистъра".

Геотоп "Нос Агалина" ("Нос Света Агалина"). Обявен е природна забележителност със Заповед N⁰ за 878/25.11.1980г. на Комитета за опазване на природната среда. Обхваща стръмния морски бряг между къмпинг "Веселие" и "Алепу - Дюни" с дължина 2,7 km (фиг. 5) и попада изцяло в скалите на Созополската свита. Непрекъснатите разкрития показват взаимоотношенията между докалдерните и калдерни фациеси от гърлото на Росенския палеовулкан. В тях могат да бъдат наблюдавани вулкански брекчи (фиг. 5, т. 1; табл. II; сн. 14,15), вулкански бомби (фиг. 5, т. 1; табл. III, сн. 1), дайки (фиг. 5, т. 2; табл. III, сн. 2), контакти между разнофациални вулкански продукти (фиг. 5, т. 3, 4; табл. III, сн. 3), кавернозно изветряне (фиг. 5, т. 1; табл. III, сн. 4), блоковопризматично напукване (фиг. 5, т. 3; табл. III, сн. 5), лавови потоци от трахити (фиг. 5, т. 4; табл. III, сн. 6). И тук бреговата линия е насечена от фиордообразни заливи с различна ширина и височина на клифа (фиг. 5, т. 2-4; табл. III, сн. 7-9). На няколко места абразията е изваяла него-леми (до 5-6 m високи) скални пирамиди (фиг. 5, т. 6; табл. III, сн. 10).



Фиг. 5. Местоположение на най-характерните разкрития в рамките на геотоп "Нос Агалина"

Според класификацията на геоложките феномени геотопът "Нос Агалина" попада в групата на обектите с естетическа (клас геоморфоложки) и научна стойност (клас вулканоложки), а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени (Синьовски и др., 2002), той е с регионално значение. За разлика от предходните два геотопа "Нос Агалина" не е обект на застрояване и достъпът до бреговата линия не е възпрепятстван. В този смисъл настоящото изследване потвърждава високата оценка, направена при съставянето на досието (Желев, 2003, непубликувани данни).

Други геоложки феномени. В северния край на с. Черноморец, непосредствено на североизток от плажа, в полегатия морски бряг, в една ивица с посока 3-И и дължина 370 m, се разкриват кварцсиенити от Росенския плутон. В тях може да се наблюдава прототектониката на интрузива (табл. III, сн. 12), различни стадии на сферично (луковично) изветряне, както и аплитови жили с дебелина до 30 cm (табл. III, сн. 13).

В североизточния край на "стария град" на Созопол, в района на нос "Скамни", стръмният до почти отвесен морски бряг (височина на клифа до 10 m) предоставя възможности за наблюдаване на блоково-призматично напукване в трахитите на Созополската свита (табл. III, сн. 14), както и абразионни форми, представени от няколко скални пирамиди с височина 5-6 m (табл. III, сн. 15).

Заключение

Геоложките феномени в района на гр. Созопол и с. Черноморец са оформени в устойчиви на влиянието на екзогенните процеси интрузивни и вулкански скали, което предопределя тяхното продължително съществуване. Поставянето на информационни табла с геоложка информация, както и подготвянето на интерпретативни геоложки маршрути, на фона на богатото културно и историческо наследство на района, съчетано с отлични транспортни комуникации, би допринесло значително за тяхното популяризиране извън кръга на тесните специалисти. По този начин тази част от бреговата ивица би се превърнала в естествен северен сегмент от геопарк по палеовулканология, обхващащ черноморското крайбрежие на юг от Бургас, заедно с описаните в по-ранни публикации геоложки феномени в района на резервата "Ропотамо" (Желев и Вълчев, 2013), южно от гр. Ахтопол (Желев и др., 2012), както и тези в природен парк "Странджа", представени детайлно от Георгиев и Балканска (2014).

Огромният туристически поток в региона е предпоставка за търсене на възможности за разширяване на легловата база, което излага на сериозен риск опазването на био- и георазнообразието. В тази връзка е необходимо държавните институции, отговарящи както за защитата на природните, културните и историческите забележителности (Министерствата на околната среда и водите, на икономиката, на културата), така и за инфраструктурата (Министерството на транспорта, информационните технологии и съобщенията), да предприемат координирано, от една страна, енергични действия за запазването и подобряването на статута на защитените обекти, а от друга – да създадат необходимите условия за достъп до тези обекти.

Литература

Василев, Л., Г. Станишева-Василева, А. Харковска, Х. Дабовски, П. Лилов. 1984. Структурно, петроложко и металогенно изследване на къснокреден магмен anapam от централен тип. Росенски палеовулкан. Геофонд на ГИ на БАН; 167 с., 4 картни приложения.

- Гочев, П. 1935. Находка на средномиоценски наслаги югоизточно от Бургас.- Сп. Бълг. геол. д-во, 7, 3, 253-255.
- Георгиев, С., Е. Балканска. 2014. Геоложки маршрути по черноморското крайбрежие на природен парк "Странджа". – Дирекция на ПП Странджа, М. Търново, 100 с.
- Дабовски, Х. 1988. Пукнатинни интрузии в Средногорието. С., Изд. БАН, 183 с.
- Желев, В. 2014. Колокита. *Геология и мин. ресурси,* 3, 21-29.
- 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, 1, 21-29.
- Желев, В., Б. Вълчев. 2013. Геоложки феномени в района на резервата "Ропотамо", Бургаска област. – *Год. МГУ*, 56, 1, 109-118.
- Иванов, Р. 1979. Към тектоногеохимичния анализ на горнокредния магматизъм в Източното Средногорие. – Сп. Бълг. геол. д-во, 40, 1, 47-61.
- 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., Л. Михайлова, В. Василева. 1992. Геоложка карта на България в М 1:100000 (картен лист Поморие). – КГМР, ПГПГК.
- Петрова, А., Л. Михайлова, В. Василева. 1994. Обяснителна записка към геоложката карта на България в М 1:100000 (картен лист Поморие). КГМР, "Геология и геофизика" АД, 39 с.
- 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., 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.
- Попов, П., Х. Спиридонов. 1990. Върху морфоструктурата на рудните райони в Средногорието. – Год. ВМГИ, 36, 1; 31-39.
- 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.
- 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.
- Харковска, А., Г. Станишева, Василева, Х. Дабовски. 1989. Росенский палеовулкан. – В: Альпийский магматизм Средногории и Восточных Родоп и связанная с ним металогения (путеводитель екскурсии), КБГА – XIV конгрес, София.

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

ТАБЛИЦА І



ТАБЛИЦА І

<u>1-11 – геотоп "Червенка":</u> 1 – общ изглед на централната и северната част на геотопа с няколко добре оформени фиордообразни залива (снимка от м. април 2003 г.); 2 – три системи пукнатини в монцонитите на Росенския плутон с внедрени аплитови жили с дебелина 10-12 ст в южната част на геотопа; 3 – контакт между монцинитите на Росенския плутон и трахитите на Созополската свита, пресечени от субхоризонтална аплитова жила в централната част на геотопа; 4 – секущи взаимоотношения между аплитови жили и кварцсиенити на Росенския плутон в северната част на геотопа; 5 – контакт между трахитите на Созополската свита и кварцсиенити на Росенския плутон в северната част на геотопа; 6 – субвертикални пукнатини в монцонитите на Росенския плутон в южната част на геотопа; 7 в – различни етапи от сферичното (луковично) изветряне на монцонитите на Росенския плутон в трахитите на Созополската свита и централната част на геотопа; 7, 8 – различни етапи от сферичното (свита в централната част на геотопа; 10 – кавернозно изветряне в трахитите на Созополската свита свита свита синта част на геотопа; 11 – масивно строителство в южната част на геотопа; 12, 13 <u>– геотоп "Колокита"</u>: вулкански брекчи при нос Свети Стефан.

ТАБЛИЦА ІІ



ТАБЛИЦА ІІ

<u>1-13 – геотоп "Колокита":</u> 1 – вулкански брекчи на 300 m N от нос Свети Стефан; 2, 3 – субвертикални афанитови дайки със зона на закалка при нос Свети Стефан; 4 – хидротермално променени вулканити на 400 m ENE от Райския залив; 5 – блоково-призматично напукване в трахитите на Созополската свита при нос Христос; 6, 7 – кавернозно изветряне в трахитите на Созополската свита при нос Свети Стефан; 8 – ъглово несъгласие между Созополската и Евксиноградската свита в NW край на геотопа; 9 - тектонски предопределени фиордообразни заливи с посока W-E но 200 m N от нос Свети Стефан; 10 – скални пирамиди, оформени в малък фиордообразен залив при нос Христос; 11 – "Морският лъв" каменна пирамида при нос Колокита (сн. от м. април 2003 г.); 12 – северният бряг на полуостров Колокита през 2003 г.; 13 – същият участък е плътно застроен през 2013 г.; <u>14-15 – геотоп "Нос Агалина":</u> вулкански брекчи при нос Мало Петра (14 – общ изглед, 15 – детайл).

ТАБЛИЦА III



ТАБЛИЦА III

<u>1-11 – геотоп "Нос Агалина":</u> 1 – вулканска бомба от порфирокластичен пироксен-биотитов трахит на 630 m SW от н. Св. Агалина; 2 – субвертикална дайка сред порфирокластични пироксен-биотитови трахити на 700 m WNW от н. Св. Агалина; 3 – взаимоотношения между Ктрахиандезитобазалти и порфирокластични пироксен-биотитови трахити на 130 m WNW от н. Св. Агалина; 4 – кавернозно изветряне при н. Мало Петра; 5 – блоково-призматично напукване в пироксен-биотитови трахити на 670 m WNW от н. Св. Агалина; 4 – кавернозно изветряне при н. Мало Петра; 5 – блоково-призматично напукване в пироксен-биотитови трахити на 670 m WNW от н. Св. Агалина; 6 – лавов поток от порфирокластични пироксен-биотитови трахити при н. Св. Агалина; 7 – тесен фиордообразен залив с посока N-S на 100 m W от н. Св. Агалина; 8 – тесен фиордообразен залив с посока NE-SW с височина на клифа над 10 m и блоково-призматично напукване в порфирокластични пироксенбиотитови трахити при н. Св. Агалина; 9 – зародиши на фиордообразни заливи на 100 m S от н. Мало Петра; 10 – скална пирамида с височина 6 m на 500 m SW от н. Св. Агалина; 11 – скална арка сред вулкански брекчи при н. Мало Петра; 12-15 - други геоложки феномени: 12 – три системи пукнатини в кварцсиенитите на Росенския плутон Е от плажа на с. Черноморец; 13 – сферично изветряне и аплитова жила в същите скали; 14 – блоково-призматично напукване в трахитите на Созополската свита при н. Скамни, гр. Созопол; 15 – "Скалният сфинкс" - скална пирамида с височина 5 m на 220 m WNW от н. Скамни.

ГЕОЛОЖКИЯТ ФЕНОМЕН "СЛОНЪТ" ПРИ С. ДОЛНИ КОРИТЕН, КЮСТЕНДИЛСКА ОБЛАСТ

Борис Вълчев, Венелин Желев, Стоян Танациев

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

РЕЗЮМЕ.Геоложкият феномен "Слонът", известен още като "Шупли камък", е с надморска височина 868 m и се намира в централната част на Кобилска планина, в долината на р. Уйненщица, на 770 m запад-югозападно от с. Долни Коритен, Кюстендилско. Феноменът е оформен в скалите на субвертикална пачка от кластични варовици на една флишоидна задруга (Горен Еоцен-Долен Олигоцен). Наподобява тяло на слон с дължина 17,50 m и височина 5,50 m с ясно обособена глава и хобот. Резултат е от комбинацията на три фактора: литоложки, тектонски и геоморфоложки. Разположението на по-устойчивата варовикова пачка между сравнително некомпетентните пластове на флишоидната задруга, от една страна, и субвертикалното й положение в югозападното бедро на малка синклинала, е благоприятствало твореца, който чрез своите оръдия - избирателната денудация и ерозията, е оформил тази странна релефна форма. Според класификацията на геоложките феномени "Слонът" се отнася към обектите с естетическа стойност (клас геоморфоложки обекти), а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени той е с локално значение. Отговаря на критериите за природна забележителност по Закона за защитените територии. В съчетания с красивата природа, интересния геоложки строеж, присъствието на още няколко геосайта с научна и естетическа стойност, както и наличието на следи от древен златодобив, "Слонът" допълва местния ландшафт и заслужава да бъде популяризиран и запазен.

"THE ELEPHANT" GEOLOGICAL PHENOMENON NEAR DOLNI KORITEN VILLAGE, KYUSTENDIL DISTRICT Boris Valchev, Venelin Jelev, Stoyan Tanatsiev

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

ABSTRACT., The Elephant" geological phenomenon, known as "Porous Stone", is situated at the central area of Kobilska Mountain in the Ujnenshtitsa River valley, 770 m west-southwest of Dolni Koriten village, Kyustendil Districtat an elevation of 868 m. The phenomenon is formed in the rocks of a subvertical limestone package of flyshoid formation (Upper Eocene-Lower Oligocene). It resembles anelephant body - 17,50m long and 5,50 m high, with distinct head and proboscis. It resulted of combination of 3 factors: lithology, tectonics and geomorphology. The location of the resistant limestone packet among the incompetent layers of flyshoid formation as well as its subvertical dipping in southwestern limbs of a small syncline, enabled the creator who by means of his tools – selective denudation and erosion, has sculptured this strange relief form. According to the classification of the geological phenomena it corresponds to the criteria for yalue (class geomorphologic geosites) and according to the original Bulgarian methodology for estimation of geological phenomena it corresponds to the criteria for geosite of local importance. It also corresponds to the criteria of natural site according to the Protected Areas Act. In combination with the wonderful nature, complicated geological structure, presence of several geosites with scientific and aesthetic value as well as traces of ancient gold mining, "The Elephant" represents a natural part of the local landscape end deserves to be popularized and protected.

Увод

Районът на Кюстендилското Краище се характеризира с разчленен релеф и добра разкритост на скалните комплекси – една отлична предпоставка за експонирането на геоложки феномени както с висока естетическа, така и с висока научна стойност. Независимо от този факт той остава встрани от дискусиите за българското геоложкото наследство. В "Регистър и кадастър на геоложките феномени в Република България" (1999-2003) e представен от общо три геотопа - два обекта с висока научна стойност ("Разрез Полетински дол" и "Гърбински навлак"), както и един обект с висока естетическа стойност ("Земенски скали"). Описаният в настоящата статия геоложки феномен "Слонът", намиращ се при с. Долни Коритен, Кюстендилско (фиг. 1), се явява естествено допълнение към представите за геоморфоложкото разнообразие в тази част от страната. Досега феноменът не е обявяван за защитена площ и не фигурира в Регистър и кадастър на геоложките феномени в Република България". Следващите редове имат за цел да представят накратко геоложкия строеж на района, да направят характеристика на геоложкия феномен и да популяризират възможностите за включването му в туристически маршрути.

Данни за геоложкия строеж на района

Стратиграфия. Районът на геоложкия феномен (фиг. 2) е изграден от раннопалеозойски метаморфити и гранити, триаски и палеогенски теригенни, теригенно-карбонатни и карбонатни скали, неогенски и кватернерни континентални наслаги.

Най-старите скали в района се разкриват в югозападната му част. Те са представени от *Чешлянските метаседименти* (Камбрий-Ордовик), които в по-ранни публикации са описвани като "Чешлянска свита" (Първанов, 1967; Загорчев и Динкова, 1991; Загорчев, 1993), но предвид неслоестия им характер Милованов и др. (2006) заменят ранговия термин с литоложки. Единицата е представена от калкошисти, серицит-хлоритови шисти, метапясъчници и диабази.



Фиг. 1. Схема за достъп до геоложкия феномен "Слонът" с местоположението на други геоложки феномени в района: 1- "Разрез Полетински дол"; 2 – "Земенски скали"; 3 – "Гърбински навлак"

Югозападно от с. Долни Коритен се разкрива малко тяло от *певкократни гранити* (Ордовик), пресичащо Чешлянските метаседименти. В регионален аспект тези скали са покрити несъгласно от палеогенски и неогенски седименти, но в разглеждания район (фиг. 2) се разкрива само неогенската им покривка.

Триаската система се разкрива на широки площи северно, изток-югоизточно, западно и южно от с. Долни Коритен. Включва скали на Искърската и Мизийската група. Искърската карбонатна група (Тронков, 1981) е представена от три свити – Боснекска, Радомирска и Трънска, а Мизийската група (Чемберски и др., 1974) включва само скалите на Комщицката свита.

Боснекската свита (Тронков, 1975; Аниз) се разкрива южно и източно от с. Долни Коритен. Тя е изградена от сиви, на места бели захаровидни, дебелопластови доломити с неясна слоестост и прослойки от доломитни варовици. Покрива с рязък литоложки контакт скалите на Могилската свита (извън района). Дебелината й не надхвърля 50 m.

Радомирската свита (Тронков, 1983; Ладин) се наблюдава под формата на няколко тесни ивици северно, югозападно, южно и източно от с. Долни Коритен. Покрива с рязка литоложка граница Боснекската свита. Включва тъмносиви до сивочерни тънкопластови афанитови варовици, тъмносиви ядчести варовиции пачки от тъмносиви до зеленикави мергели и аргилити ("даонелни лиски"), богати на фосили (Тронков, 1983; Загорчев, 1993; Budurov et al., 1995). Дебелината на свитата се изменя от 50 до 150m.

Трънската свита (Тронков, 1981; Карн-Нор) се разкрива на широки площи в целия район. Покрива с постепенен преход Радомирската свита. Представена е от светлосиви до тъмносиви и белезникави афанитови варовици с прослойки от яснокристалинни варовици. Дебелината й е в диапазона 100-250 m.

Комщицката свита (Tronkov, 1969; Hop) има ограничено разпространение в изследвания район. Разкрива се в малки изолирани петна източно от с. Долни Коритен.Лежи с рязка литоложка граница върху Трънската свита. Изградена е от червени аргилити и алевролити с прослойки от кварцови пясъчници. Дебелината на единицата е в рамките на 100-150 m.

Палеогенската система е изградена от скалите на брекчоконгломератната и флишоидната задруга (Милованов и др., 2006; Горен Еоцен-Долен Олигоцен), които се разкриват непосредствено на запад и югозапад от с. Долни Коритен. Брекчоконгломератната задруга лежи трансгресивно върху Чешлянските метаседименти и е представена брекчоконгломерати, от полигенни конгломерати, пясъчници и глини. Дебелината й варира от 0 до 130 m. Флишоидната задруга покрива трансресивно Трънската свита или Брекчоконгломератната задруга. Включва редуващи се разнозърнести пясъчници, але-вролити и аргилити. Дебелината на единицата е от 0 до 120 m. Непосредствено на югозапад от с. Долни Коритен в обема на задругата се наблюдава картируема пачка от кластични варовици, в която е скулптиран "Слонът" (фиг. 2).

Неогенските скали се разкриват в изолирани петна северозападно, югозападно и югоизточно от с. Долни Коритен. Представени са от езерно-речни седименти (Милованов и др., 2006; Понт-Долен Роман), включващи чакъли, конгломерати, пясъци и глини. На места дебелината на тези седименти надхвърля 150 m.

Кватернерът в района е представен от *делувиални*отложения (Плейстоцен-Холоцен), които се разкриват в две петна северно и западно от с. Долни Коритен и включват груби късове от гнайси, гранити, пясъчници и варовици, споени с глинесто-песъчлива спойка.

Тектоника. В регионален аспект районът на геоложкия феномен попада главно в обхвата на Трънско-Лужничката подединица (Загорчев, 1990) на Струмската единица (Загорчев, 1984, 1990, 1993), в рамките на тектонска зона, описвана като Краищиди (Бончев, 1971), Краищенска зона (Иванов, 1998) или Моравско-Родопска зона (Dabovski et al., 2002). В югозападния край на района (фиг. 2) се разкрива и малък фрагмент от челото на Полетинския навлак на Моравската единица. Той включва калкошисти, серицит-хлоритови шисти, метапясъчници и диабази (Чешшлянски метаседименти), процепени от левкократните палеозойски гранити. По-голямата част от навлака е покри-



Фиг. 2. Геоложка карта на района на геоложкия феномен "Слонът" (по Желев и др., 2006, с изменения) 1 – Кватернер (делувий): неогладени късове с глинесто-песъчлива спойка; 2 – Неоген (Понт-Долен Роман): чакъли, конгломерати, пясъци и глини; Палеоген (3-5): 3-4 - флишоидна задруга (Горен Еоцен-Долен Олигоцен) - разнозърнести пясъчници, алевролити и аргилити; 4 – варовикова пачка; 5 – брекчоконгломератна задруга (Горен Еоцен-Долен Олигоцен) – брекчоконгломерати, пясъчници и глини; Триас (6-9): 6 -Комщицка свита (Нор) - червени аргилити и алевролити с прослойки от кварцови пясъчници; 7 – Трънска свита (Карн-Нор) - афанитови варовици с прослойки от яснокристалинни варовици; 8 – Радомирска свита (Ладин) - афанитови варовици, ядчести варовици, мергели и аргилити; 9 – Боснекска свита (Аниз) - дебелопластови доломити и доломитни варовици; 10-11 – Палеозой: 10 – левкократни гранити (Ордовик); 11 – Чешлянски метаседименти (Камбрий-Ордовик) -калкошисти, серицит-хлоритови шисти, метапясъчници и диабази; 12 - литостратиграфска граница; 13 – разсед: а – установен, 6 - предполагаем; 14 – навлак; 15 - слоестост; 16 – местоположение на геоложкия феномен

та от палеогенски (извън района), неогенски и кватернерни седименти (фиг. 2), но фронталната му част е добре разкрита и по нея се наблюдава навличане на палеозойските скали върху варовиците на Трънската свита (Горен Триас). Самият феномен е оформен в нагънатата палеогенска покривка, съставна част на Коритенския едностранен грабен. Той е запълнен от палеогенски и неогенски седименти, като в Палеогена е оформена малка синклинала със североизточна вергентност и посока на шарнира СЗ-ЮИ. Югозападното й крило е стръмно (ss=50/80), а североизточното - субхоризонтално, с наклони, вариращи от 0 до 250. От ЮЗ грабенът е ограничен от Горнокоритенския разлом, който в този участък има характер на разсед, с потънало СИ крило, в което се разкрива пълнежът на Коритенския грабен. На ЮИ обаче (в околностите на с. Злогош – извън района) в североизточното му крило се разкриват палеозойски гранити, а в югозападното - триаски седименти, т. е. тук е потънало ЮЗ крило. Тази смяна в знака на движенията по разлома го определя като шарнирен (ножичен).

Характеристика на геоложкия феномен

Геоложкият феномен "Слонът" е експониран в централната част на Кобилска планина. Намира се в долината на р. Уйненщица на 770m запад-югозападно от с. Долни Коритен и е с надморска височина 868m. На топографската карта в М 1:25000 е отбелязан като единична стърчаща скала под името "Шупли камък" (фиг. 3). Покрай него минава път с макадамова настилка, свързващ с. Горно Уйно със селата Горни и Долни Коритен. Въпреки близостта му до пътя, "Слонът" се забелязва трудно поради гъстата дървесна и храстовидна растителност, която го покрива (таблица I, сн. 1, 2).



Фиг. 3. Фрагмент от топографска карта в М 1:25 000

"Слонът" е резултат от комбинираното действие на три фактора: литоложки, тектонски и геоморфоложки. Феноменът е оформен в стръмното (ss=30/80) югозападно бедро на малка синклинала в рамките на пачка от кластични варовици на флишоидната задруга (табл. I, сн.

1, 2, 6). В този участък тя е с дебелина 1,60 - 2,00 m и в надлъжен разрез наподобява тяло на слон с ясно обособена глава и хобот (табл. I, сн. 2-5). Дължината на скалната композиция е 17,50 m, а височината й - 5,50 m. Разположението на по-устойчивата варовикова пачка между сравнително некомпетентните пластове на флишоидната задруга, от една страна, и субвертикалното й положение в югозападното бедро на синклиналата е благоприятствало твореца, който чрез своите оръдия избирателната денудация и ерозията, е оформил тази странна релефна форма. Името "Шупли камък", с което тя е известна сред местното население. се дължи на повсеместно развитите каверни в пачката на кластичните варовици. Това от своя страна е резултат от нейния генезис. Релефната форма представлява пролувиален конус, подхранван от близко разположена суша, изградена предимно от триаските карбонати на Искърската група. "кластичните варовици" Всъщност представляват карбонатни брекчи, в които късовете са предимно от триаски варовици и доломити, споени също с карбонатна спойка. Поради разликата във възрастта на късовете и спойката, те са литифицирани в различна степен, което ги прави различно устойчиви на ерозията. По-меката спойка се разрушава по-бързо, като в скалата се образуват негативни микрорелефни форми, означавани като шупли или каверни. Макар и рядко, в пачката се наблюдават и кварцови късове, преотложени от долнотриаските конгломерати (Петроханската теригенна група), разкриващи се южно и югоизточно от нея или от палеогенската брекчоконгломератна задруга под нея. На те са запазени и изграждат позитивни места микрорелефни форми, но на други са отделени от скалата и образуват характерни кръгли или овални негативни форми (табл. I, сн. 7-9).

В югозападната стена на "Слонът" се наблюдават и плитки (до 5 cm) квадратни (12x12 cm) или правоъгълни (30x14 cm) ниши (табл. I, сн. 10). Очевидно те са дело на човешка ръка и най-вероятно са използвани като опорни елементи за временна постройка (заслон).

Според класификацията на геоложките феномени "Слонът" се отнася към обектите с висока естетическа стойност (клас геоморфоложки обекти), а според оригиналната българска методика за оценяване на геоложки феномени (Синьовски и др., 2002) той е с локално значение. Отговаря на критериите за "природна забележителност" по Закона за защитените територии.

"Слонът" не се нуждае от специални мерки за защита. За по-доброто му експониране обаче е необходимо да се изсече буйната дървесна и храстовидна растителност, която от пролетта до есента го скрива почти напълно от погледа на туристите (табл. I, фиг. 1).

Заключение

Описаният геоморфоложки феномен допълва представите за българското геоложко наследство в тази част на страната. Естественото съчетание на сложен

геоложки строеж и разнообразен релеф предполага наличието на възможности за откриването на нови феномени с висока естетическа и научна стойност, които да бъдат включени в туристически маршрути заедно с популярните вече "Земенски скали", "Разрез Полетински дол" и "Гърбински навлак", посещавани ежегодно по време на студентски практики и научни геоложки екскурзии.

От друга страна, в района могат да бъдат посетени и някои обекти с историческа стойност за българската геология. Това са старите отработки в надзаливните тераси и неогенските конгломерати около селата Горно Уйно, Соволяно и Ръждавица, свидетелстващи за добива на разсипно злато в миналото.

Красивата природа, добре развитите комуникации и близостта до областния център с неговото богато културно и историческо наследство ни дава основание да приемем, че районът на Кюстендилското Краище притежава висок геотуристически потенциал.

Литература

- Бончев, Е. 1971. Проблеми на българската геотектоника. С., "Техника", 204 с.
- Желев, В., П. Милованов, Е. Горанов, В. Вълев, И. Петров, Е. Илиева. 2006. Геоложка карта на Република България в М 1:50 000. Картен лист К-34-57-Г (Райчиловци) и К-34-58-В (Драговищица). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., "Апис 50" ООД.
- Загорчев, И. 1984. Роль надвигов в альпийском строении Краиштид. – *Geologica Balc.*, 14, 4, 37-64.
- Загорчев, И. 1990. Корреляция между тектоническими единицами и зонами в пограничных районах Юго-Западной Болгарии. – *Comt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 43, 7, 53-56.
- Загорчев, И.1993. Обяснителна записка към геоложката карта на България в мащаб 1:100 000. Картни листове Босилеград и Радомир. КГМР, Геология и геофизика, С., "Болид", 77с.
- Загорчев, И., А. Динкова. 1991. Геоложка карта на България в мащаб 1:100 000. Картни листове Босилеград и Радомир. С., ПГПГК на КГ.
- Иванов, Ж. 1998. *Тектоника на България*. Хабилит. труд, Соф. унив., 545 с.
- Милованов, П., Е. Горанов, В. Желев, В. Вълев, И. Петров, Е. Илиева, Е. Найденов. 2006. Обяснителна записка към геоложката карта на Република България в М 1:50 000. Картен лист К-34-57-Г (Райчиловци) и К-34-58-В (Драговищица). МОСВ, Българска национална геоложка служба, С., "Унискорп" ООД, 59 с.
- Първанов, Б. 1967. Опит за литостратиграфско поделяне на метаморфните скали в централния и южния дял на Краището. – В: Юбил. сб. по геология, 317-323.
- 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.

- Тронков, Д. 1975. Бележки върху стратиграфията на триаса в Голо бърдо. –*Палеонтол., стратигр. и литол.,* 1, 71-84.
- Тронков, Д. 1981. Стратиграфия триасовой системы в части Западного Средногорья (Югозападная Болгария). – *Geologica Balc.*, 11, 1, 3-20.
- Тронков, Д. 1983. Стратиграфические проблемы Искърской карбонатной группы (триас) Юго-Западной Болгарии. *Geologica Balc.*, 13, 5, 91-100.
- 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. проучв.", 20, 327-341.

- Budurov, K., E. Trifonova, I. Zagorchev. 1995. The Triassic in Southwest Bulgaria. Correlation of key sections. – *Geologica Balc.*, 25, 1, 27-60.
- Dabovski, C., I. Boyanov, C. Christchev, T. Nikolov, I. Sapunov, Y. Yanev, I. Zagorchev. 2002. Structure and alpine evolution of Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 21, 4, 1-8.
- Tronkov, D. 1969. Neue Angaben über das Alterderbunten Gesteinedes "Räts" (obereTrias) in Bulgarien. – C. R. Acad. Bulg. Sci., 21, 4, 363-366.

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

ТАБЛИЦА І



ТАБЛИЦА I 1-2 – общ изглед на субвертикалната варовикова пачка на флишоидната задруга в долината на р. Уйненщица на 770m ЗЮЗ от с. Долни Коритен – поглед от ЮЗ; 3 – близък план на геоложкия феномен "Слонът" – поглед от ЮЗ; 4 – "главата" и "хоботът" на "Слонът" – поглед от СИ; 5 – фрагмент от скалната композиция – поглед от ЮИ; 6 – субвертикалните варовикови пластове – поглед от СЗ; 7-9 – ясно изразени шупли в скалите на варовиковата пачка, дали името "Шупли камък"; 10 – малки ниши в основата на "главата" и "Слонът", вероятно дело на човешка ръка.

МЕТАБАЗИТИ ОТ НАЙ-СЕВЕРНИТЕ ЧАСТИ НА ВИСОКОМЕТАМОРФНИЯ РАЗРЕЗ НА ЦЕНТРАЛНА СРЕДНА ГОРА, БЪЛГАРИЯ

Янко Герджиков¹, Диан Вангелов¹, Анна Лазарова²

¹ Софийски Университет "Св. Климент Охридски", 1504 София, janko@gea.uni-sofia.bg

² Геологически институт, БАН, 1113 София

РЕЗЮМЕ. В оградните склонове на Златишкия и Камарския грабен се разкриват високостепенни метаморфити, част от ядрото на херцинския ороген на територията на България. Тук те са засегнати от обемни срязвания, свързани с движенията по регионална пластична зона на срязване – тектонска зона Стъргел-Болуваня, която бележи контакта на гнайсите с нискометаморфните скали от Стара планина. Високометаморфният разрез се състои главно от диафторизирани двуслюдени парагнайси и редки тела от ортогнайси, като доминират левкократните разновидности. Проведените теренни изследвания в района на Гълъбец и Златишкия грабен показаха, че метаморфният разрез вклюва метрови, декаметрови и стотици метрови тела от метабазити. Те са представени главно от силно милонитизирани метагабра, вместващи голям брой аплитоидни и пегматоидни жили, като в отделни локалитети е установено присъствие и на ретроградно преработени еклогити. Последните играят ключова роля при реконструирането на херцинската орогенеза, като са пряк индикатор за дълбоко погребване на части от метаморфния разрез. В по-локален план, документираното в настоящиот изложение по-широко присъствие на метабазити във високометаморфния разрез по тези места налага преосмисляне на структурно-стратиграфската позиция на милонитизираните метабара от южните кклонове на Стара планина. Те традиционно се причисляват към типичния за Балкана нискометаморфен разрез, но изложените подолу факти показват тяхната генетична обвързаност с разреза на високостепенните метаморфити.

METABASITES FROM THE NORTHERNMOST PARTS OF THE HIGH-GRADE METAMORPHITE SECTION OF CENTRAL SREDNA GORA, BULGARIA

lanko Gerdjikov¹, Dian Vangelov¹, Anna Lazarova²

¹ Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1504 Sofia, janko@gea.uni-sofia.bg

² Geological Institute, BAS, 1113 Sofia

ABSTRACT. High-grade metamorphic rocks from the core of the Variscan orogen on the Bulgarian territory are exposed along the margins of both Zlatitsa and Kamartsi grabens. Here, they are involved into an intense ductile deformation along the regional-scale Stargel-Boluvanya tectonic zone, coinciding with the contact between high-grade basement and the low-grade complexes of the Stara Planina zone. The high-grade metamorphic section is dominated by diaphtorized two-mica paragneisses, but rare domains of leucocratic orthogneisses are presented as well. Our field studies in the area of Galabets horst and Zlatitsa graben show the presence of several meters, decameters as well as up to hundreds meters in scale bodies of metabasic rocks. Most common are intensively mylonitized metagaboros hosting numerous aplitoid and pegmatoid veins, but locally bodies of diaphtorized eclogites are distinguished as well. The latter are playing a key role in reconstruction of the Variscan orogeny indicating deep burialof parts of the high-grade metamorphite section. In addition, the documented here more widespread occurrence of metabasic rocks within this high-grade complex requires reassessment of their structural and stratigraphical position. Namely, the mylonitic metagabbors from the southern slopes of Stara planina Mountain, which traditionally are attributed to the Stara Planina (Balkan) low-grade metamorphic unit, have to be taken away from this section due to the great contrast of the experienced metamorphic transformations.

Въведение

Комплексът от високостепенни метаморфити, разкриващ се в Централна (Същинска) и Ихтиманска Средна гора, Верила и западната периферия на Родопите, несъмнено представлява част от ядрото на херцинския ороген на територията на България – факт, добре подкрепен с редица геохроноложки данни (Velichkova et al., 2004; Cortesogno et al., 2005; Peytcheva and von Quadt, 2004; Carrigan et al., 2006; Gaggero et al., 2009; Gerdjikov et al., 2010). Въпреки това, тези метаморфити остават една от най-слабо изучените единици.

В рамките на редица научни и научно-приложни проекти, извършихме детайлни профилни изследвания през високометаморфния разрез, разкриващ се в района на Камарския и Златишкия грабен, като получените данни показват значително по-широко площно присъствие на метабазити и еклогити, спрямо досегашните представи. Документирането и характеризирането на тези тела има изключително значение в два основни аспекта. От една страна, тяхното присъствие е недвусмислен индикатор за геодинамичната обстановка, подсказвайки ликвидация на океански басейн и последващо субдуциране на фрагменти от океанска кора на значителни дълбочини. От друга страна, районът на изследване е "възлов", поради непосредвената блозост на контакта на този комплекс с нискометаморфните скали (Антонов и др., 2001), изграждащи домезозойската подложка на Балкана, трасиран от т. нар. Стъргел-Болуванска тектонска зона (Gerdjikov et al., 2007). Именно паралено на него изобилстват телата от метабазити, традиционно включвани в нискостепенния разрез. Характеризирането на базитите ще позволи формирането на един нов поглед към проблема с контакта между високо- и нискометаморфните скали в Централна България, което от своя страна ще улесни по-нататъшни възстановки на херцинската геодинамика.

Геоложка обстановка

Важността на района за разбирането на херцинската и алпийската тектоника се определя от трасирането в този участък на Балканидите на две важни зони – контактът между ниско- и високометаморфните комплекси, и северната граница на Средногорската зона. Въпреки значимостта и многогодишните изследвания, въпросът за характера на тези зони все още е обект на дискусия. По отношение тематиката на настоящето изложение, найважен е контактът между двата контрастни по степен на метаморфизъм комплекси. Той се трасира в южните склонове на Стара планина от Камарския грабен на запад, през Златишкия грабен до билните части на Стара планина в района на вр. Болуваня на изток (Фиг. 1). Представлява зона на срязване с километрови размери (тектонска зона Стъргел-Болуваня), по която високометаморфните скали се разполагат върху или са допрени до нискометаморфния разрез. Регионалният тектонски анализ и конкретните структурни данни дават основание да се твърди, че това е ясно обособима тектонска зона, но различна от тази, която трасира контакта между високометеморфните комплекси и Фролошката единица в ЮЗ България (Gerdjikov et al., 2010).

Високометаморфният комплекс се разкрива на широки площи в района (Фиг. 1), но специализирани петроложки и структурни изследвания не са провеждани, а повечето данни за метаморфитите са получени при геоложките картировки (Връблянски и др., 1958; Антонов и др. 2010). Разрезът се доминира от мигматизирани двуслюдени гнайси, всред които са вместени тела от ортоамфиболити (Антонов и др., 2010) и по-рядко от ултрабазити. Разпознавайки регионалното разпространение на тази метаморфна единица я означаваме като Високометаморфен комплекс на Централното Средногорие (ВМКЦС - Герджиков и др., 2010). Лещи от еклогити са известни за разположения на юг район на Ихтиманска Средна гора (Димитрова и Белмустакова, 1982; Gaggero et al, 2009) и за областта на Верила (Kozhoukharova et al., 1993, Savov et al., 2007).

Редица данни от последните години показаха съставния характер на нискометаморфния комплекс. Разглеждан в миналото като Диабаз-филитоиден комплекс, този разрез показва значителни разлики в литоложко, структурно и метаморфно отношение. Най-високо в разреза, в района на вр. Звездец, се разполагат почти неметаморфозираните алевропелити и кварцити на Грохотенската свита (Антонов и др., 2010). Разположените отдолу нискометаморфни скали са засегнати от проникваща фолиация, която найчесто напълно "маскира" слоистостите и първичната стратиграфска после-дователност. В резултат, единствено възможното поделяне тук е свързано с използването на фолиацията като реперна плоскостна структура. Предложена е подялба, която се основава на предположение за съществуване на регионално преобръщане в тази част на разреза (Антонов и др., 2003, 2010). Обособяват се базитова (долна) и пелитна (горна) метазадруги, като находищата на първата са пространствено привързани към Стъргел-Болуванската зона и непосредствения контакт с високометаморфния комплекс. В настоящето изложение те са обединени и означени като Филитен комплекс (Фиг. 1).

Резултати от теренните изследвания

Детайлни профили бяха направени през три домена района на Гълъбец, издигнатата западна част от фундамента на Златишкия грабен и района на изток от с. Душанци (Фиг. 1). Структурните и петрографски данни от трите домена ни дават основания да разглеждаме разкриващите се тук скали на ВМКЦС като засегнати от обемни срязвания по Стъргел-Болуванската зона. Основните аргументи за това са: 1/ Почти повсеместната диафтореза на разреза и свързаната с нея преработка на фолиацията. В резултат на тези процеси мигматичната ивичестост на гнайсите е почти напълно заличена и те са превърнати в богати на слюда порфирокластични тектонити с "псевдо-очна" текстура. Мигматичният характер на изходните гнайси е запазен само в отделни по-слабо деформирани лещи (low-strain domains), а също и в по-компетентните ортогнайсови нива; 2/ В целия скален обем се документира устойчива ориентировка на фолиацията, конформна на тази в Стъргел-Болуванската зона.

Домен 1. Хребетът Гълъбец е изграден почти изцяло от скалите на високометаморфната подложка (Фиг. 1), като относително по-малката амплитуда на разседните движения в южния старопланински склон по тези места дава добра възможност да се изучи по-пълен разрез на засегнатите от деформациите в обхвата на Стъргел-Болуванската тектонска зона скали на ВМКЦС. Важен факт е, че на съществуващите геоложки карти в този домен не е отразено присъствие на метабазитови тела. Те имат незакономерно разпределение и са представени от метрови, рядко декаметрови лещовидни тела от ивичести, интензивно пластично деформирани метагабра. Само в централните части на лещите има запазени реликти с относително по-недеформиран облик на протолита. Найсилно преработените тела са напълно превърнати във финоивичести и финоцепливи амфиболити.

Разкритията по главния път E-871, а също и тези по главното било на Галъбец са редки и силно изветрели. Сравнително добри профили през метаморфния разрез бяха документирани по стръмен горски път, трасиран североизточно от язовира, разположен северно от с. Долно Камарци, а също и по билото на хребета. Ориентировката на фолиацията варира в интервала 180-220°/50-80°. Всред двуслюдените гнайси се наблюдават сантиметрови до метрови тела от левкократни ортогнайси, със по-масивен облик и относително запазени от диафторезата структури.





Домен 2. Почти непрекъснати разкрития на високометаморфния фундамент се наблюдават между селата Буново и Мирково. В тази част на Златишкия грабен, разположена на запад от Веселомогилския праг, кватернерната покривка е ограничена само до планинския склон и големите долини (Мишев и др., 1962). Връблянски и др. (1958) документират присъствието на амфиболити и метабазити в този участък. На тяхната геоложка карта е марикирано удължено в субекваториална посока. амфиболитово тяло с дължина повече от 2.7 km. Найдобри разкрития на тези скали се наблюдават по дълбоко всечена речна долина. която завършва в алувия на Буновска река (при Е 23.950308°, N 42.688202°). Тук дебелината на доминираният от ортодеривати разрез е около 200 m. Той включва както силно пластично деформирани скали (фино нашистени/милонитизирани амфибол-биотитови гнайси, амфиболови шисти и амфиболити), така и такива, запазили особеностите на протолита (порфирни по плагиоклаза габра, среднозърнести габра, диабази). Фолиацията варира в интервала 150-180°/45-70°, като на места се наблюдава линейност по амфибол с ориентировка ~150°. Прави впечатление липсата на белези за налагане на интензивни диафторитни изменения в тази част от разреза. Сравнително чести са дециметрови аплит-пегматитови жили, някои от които не са нашистени, докато други са пластично деформирани.

Домен 3. Южно от село Антон се разполага издигнат участък от фундамента на Златишкия грабен, в който се наблюдава сравнително пълен профил през високометаморфната подложка. Отново доминиращата литология са двуслюдените парагнайси. Релефът се доминира от удължен в североизток-югозападно направление хребет, който се маркира от редица твърдици, изградени от ортометаморфити. Фолиацията тук е с ориентировка 160-190°/30-45°. Разкритията са изолирани и пълен профил не може да се наблюдава. Доминират двуслюдени, често гранат-съдържащи парагнайси. Срещат се нива от левкократни ортогнайси, лещи от метагабра и финозърнести метабазити. В късове са наблюдавани и масивни ултрабазити.

Ретроградно преработени еклогити и гранатсъдържащи метагабра

Ретроградно преработените еклогити са установени в западните склонове на хребета Гълъбец, като формират лещовидно тяло с метрови размери, вместено сред силно нашистени амфиболити. Това са относително дребнозърнести скали с порфириробластна по граната текстура. Главните скалообразуващи минерали са гранат, клинопироксен, амфибол и рутил, а второстепенни фази, представени в минимални количества, са плагиоклазът и кварцът.

Гранатът образува порфиробласти с добре запазени очертания и размери под 1 mm. Клинопироксенът е поедър и е представен от хипидиобластни до ксенобластни зърна. Характерни за него са мирмекитоподобните симплектитови структури на разпад, изградени от плагиоклаз, променен клинопироксен и ± кварц. Тяхното присъствие е пряко указание за декомпресионното преуравновесяване на първичния, високобаричен клинопироксен, богат на Al и Na, съпроводено с отделяне на плагиоклаз (а вероятно и на кварц) и промяна в състава на клинопироксена към диопсидов тип (богат на Ca). Ретроградната промяна е съпроводена и с образуване на амфибол, който замества вече променения клинопироксен.

Гранатът е сравнително слабо засегнат от ретроградни процеси. Около външния контур на много от порфиробластите му, на границата с клинопироксенови зърна, се наблюдава присъствие на тънък "филм" от фини симплектити, чийто минерален състав не може да се уточни, поради малките размери.

Изобилният рутил се среща най-често като включения в клинопироксена, особено в участъците с вече уедрени структури на разпад. На места, около или в непосредствен контакт с рутила, се наблюдава непрозрачен минерал, най-вероятно илменит, чието образуване след рутила подкрепя представата за декомпресионна ретроградна промяна.

Незначителното количество плагиоклаз в скалата, свързано изключително със структурите на разпад в клинопироксена, предполага еклогит, образуван извън полето на стабилност на плагиоклаза. Преобладаващото количество фемични метаморфни минерали и изобилието на рутил, насочва към доста базичен и богат на Ті протолит, вероятно базалтоиден тип.

Друг по-"екзотичен" тип метабазити са гранатсъдържащите метагабра. Те присъстват в разреза на Домен 3, който е доминиран от парагнайси. Подобни разновидности са описвани и по контакта на високо- и нискостепенните метаморфити, но са разглеждани като част от нискометаморфния разрез (Антонов и др., 2001). Тук, това са сравнително едрозърнести, порфиробластни по граната скали. Главните скалообразуващи минерали са гранат, клинопироксен, амфибол, плагиоклаз и кварц, а акцесорни - рутил, илменит, титанит, апатит, ± циркон. Количествените взаимоотношения между тези минерали варират дори в рамките на отделните тела.

Гранатът формира хипидиобластни, често напукани и фрагментирани зърна с размери над 1 mm. Повсеместно е резорбиран, като паралено на контурите на зърната присъстват тънки ореоли от ретроградни плагиоклази, фини филосиликати и по-рядко кварц. Значителна част от клинопироксена е заместена от амфибол, като последният доминира в общия обем на скалата. Амфиболът и клинопироксенът са представени и като включения в плагиоклаза, което подсказава, че в пиковата метаморфна асоциация най-вероятно е участвал амфибол, а може би той е присъствал и в протолита. Значителните количества плагиоклаз в скалата свидетелстват, че тя е останала в полето на стабилност на този минерал и изпитаният програден метаморфизъм най-общо е протекъл в условия на високостепенен амфиболитов фациес.

Дискусия и заключение

В изследваната територия, ВМКЦС е представен основно от богати на слюди парагнайси. Всред тях незакономерно, на различни нива от тектонски стратифицирания разрез, се срещат ортодеривати – метабазити и метагранити. По този начин се потвърждават и доуточняват изложените от Връблянски и др. (1958) и Антонов и др. (2010) данни за присъствието на ортоамфиболити и метагабра в разреза на ВМКЦС. Първичните им отношения с параскалите са напълно "маскирани" от наложените тектоно-метаморфни процеси. Данни за протолитната им възраст няма, но без съмнение те са засегнати от високотемпературния метаморфизъм с възраст 336 Ма (Carrigan et al., 2006). Присъствието на тези ортометаморфити може да се тълкува като индикация за бимодален магматизъм, който условно може да се свърже с процеси на рифтинг през ранния палеозой. Реликти от такъв тип магматична активност са широко представени в целия обем на Варисцидите в рамките на Европа (Paquette et al. 1985; Briand et al. 1995; Gaggero et al. 2004).

Установяването на еклогити в тази част от разреза на ВМКЦС несъмнено говори за дълбокото погребване/субдуциране на коровия фрагмент, изграждащ високометаморфния разрез. Важна е позицията на новоустановените високобарични скали – в близост до нискометаморфния разрез от Стара планина и в обхвата на засегнатите от срязванията по Стъргел-Болуванската тектонска зона скали на ВМКЦС. Този факт още по-ясно маркира значителните разлики в пиковите термалнобарични условия, запечатани от двата контрастни метаморфни комплекса.

Документирането на сравнително големи метабазитови тела в непосредствена близост до контакта между двата метаморфни комплекса насочва към преоценка на позицията на милонитизираните габра, разположени в контактната зона. От повечето досегашни изследователи (Иванов и др, 1987; части от долна литоструктурна единица на Антонов и др., 2001, 2003; части от метабазитовата задруга на Антонов и др., 2010) те са причислявани към нискометаморфния разрез. Структурнопетрографските ни данни, както и тези, изложени от Антонов и др. (2003) показват, че габрата запечатват високостепенен метаморфизъм (минимум долен амфиболитов фациес), което е несъвместимо с тяхното причисляване към нискометаморфния разрез. Донякъде сходни идеи са изложени по-рано от Белев (1967), но е несъмнено, че решаването на този въпрос изисква допълнителни петроложки, геохроноложки и структурни изследвания.

Благодарности. Доц. Златка Чернева оказа важна помощ при петрографските изследвания на метабазитите. Признателни сме на рецензента проф. В. Желев за конструктивната критика и бележки.

Литература

Антонов, М., С. Приставова, В. Желев, К. Шипкова. 2001. Граница между високометаморфните и нискометаморфните скали в част от Югозападна България: обзор на идеите и предварителни резултати. - Сп. БГД, 62, 1-3, 77-86.

- Антонов, М., С. Приставова, В. Желев, К. Шипкова. 2003. Деформация и метаморфизъм в основата на Диабазово-филитоидния комплекс в Етрополска и Златишко-Тетевенска планина (Централна България). -Год. МГУ, т. 46, св. I, Геол. и геофиз., 1-6.
- Антонов, М., С. Герджиков, Л. Методиев, Х. Киселинов, S. Сираков, В. Вълев. 2010. Обяснителна записка към геоложка карта на България, М 1:50 000. Картен лист К-35-37-В (Пирдоп). С., Геокомплекс; 96 с.
- Белев, С. 1967. Върху взаимоотношенията между диабазфилитоидната серия и висококристалинните метаморфити. – Год. ВМГИ, 12, 2, 135-146.
- Връблянски, Б., Е. Динева, М. Георгиева, К. Бодуров, С. Попов, Ц. Цанков, Д. Чунев, С. Тонев, К. Колчева, П. Коприварова. 1958. Доклад за геоложкото картиране на южните склонове на Етрополска Стара планина, североизточните склонове на Ихтиманска Средна гора и западните окрайнини на Същинска Средна гора. София, Национален Геофонд МОСВ, IV–86.
- Димитрова, Е., Х. Белмустакова. 1982. Реликты эклогитов в комплексе кристаллических сланцев Ихтиманской Средна-Горы. Geol. Balc., 12, 1, 115-120.
- Иванов, Ж., К. Колчева, С. Московски, Д. Димов 1987. За особеностите и характера на "диабазовофилитоидната формация". - Сп. БГД, 48, 2, 1-24.
- Мишев, К., В. Попов, Ц. Михайлов. 1962. Морфология и неотектоника на старопланинското подножие между праговете Гълъбец и Козница. Изв. Геогр. инст., VI, 43–61.
- Briand, B, J.L. Bouchardon, H. Ouali, M. Piboule, P. Capiez. 1995. Geochemistry of bimodal amphibolite-felsic gneiss complexes from eastern Massif Central, France. - *Geol. Mag.*, 132, 321–337
- Carrigan, C., S. Mukasa, I. Haydoutov, K. Kolcheva. 2006. Neoproterozoic magmatism and Carboniferous high-grade metamorphism in the Sredna Gora Zone, Bulgaria: An extension of the Gondwana-derived Avalonian-Cadomian belt. – *Precambr. Resurch*, 147, 3-4, 404-416.
- Cortesogno, L., L. Gaggero, I. Haydoutov, L. Buzzi. 2005. The eclogite to amphibolite metamorphic path from the Sredna Gora terrane in the Variscan orogenic segment of Bulgaria (SE Europe), Geophys. Res. Abstracts, 7, 01802, 1–3.
- Gaggero L, L. Cortesogno, J.M. Bertrand. 2004. The Pre-Namurian basement of the Ligurian Alps: a review of the Lithostratigraphy, pre-Alpine metamorphic evolution, and regional comparisons. - *Per Mineral*, 73 (Special Issue 2), 85–96.
- Gaggero, L., L. Buzzi, I. Haydoutov, L. Cortesogno. 2009. Eclogite relics in the Variscan orogenic belt of Bulgaria (SE Europe). - *Int. J. Earth Sci.*, 98, 8, 1853-1877.
- Gerdjikov, I., N. Georgiev, D. Dimov, A. Lazarova. 2007: The different faces of supposedly single thrust: a reevaluation of the Vezhen thrust, Central Balkanides. *Proc. Bulg Geol.* Soc., 24-26.
- Gerdjikov, I., G. Ruffet, A. Lazarova, D. Vangelov, E. Balkanska, K. Bonev. 2010. 40Ar/39Ar geochronologic constrains of a Variscan transpression in Central Stara Planina Mountain. - *Proc. Bul. Geol. Soc.*, 109-110.
- Kozhoukharova, E., M. Ichev, S. Pristavova. 1993. Eclogites in the Precambrian of Verila Mountain. - C. R. Acad. Bul. Sci., 46, 11, 69-72.

- Peytcheva, I., A. von Quadt. 2004. The Palaeozoic protoliths of Central Srednogorie, Bulgaria: records in zircons from basement rocks and Cretaceous magmatites. – *In: 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, Conference Volume, Extended abstract,* T11-9.
- Paquette, J.L., R.P. Ménot, J.J. Peucat. 1985. Sm-Nd and U-Pb zircon study of eclogites from the Alpine External massifs (Western Alps): evidence for crustal contamination. - *Earth Planet Sc.i Lett.*, 96, 181–198.
- Savov, I., M. Bizimis, R. Halama, S. Shirey, E. Hauri, I. Haydoutov. 2007. Li-Sr-Lu-Hf isotope and trace element systematics of eclogites from Bulgaria. - *Goldschmidt Conference Abstracts* 2007, A879.
- Velichkova, S., R. Handler, F. Neubauer, Z. Ivanov. 2004. Variscan to Alpine tectonothermal evolution of the Central Srednogorie init, Bulgaria: constraints from 40Ar/39Ar analysis. - Schw. Mineral. Pertol. Mitt., 84, 133-151.

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

ПРИРОДЕН ГАЗ В СЛАБОПРОНИЦАЕМИ ТЕРИГЕННИ ФОРМАЦИИ (TIGHT GAS)

Ефросима Занева-Добранова

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

РЕЗЮМЕ. Изучаването на скалите като колектори за природен газ, от гледна точка на техните специфични петрофизични особености, е от съществено значение за прогнозирането на зони с различни от общоприетите схващания за акумулативните им характеристики. В световната практика все по-голяма популярност придобиват зоните на разпространение на природен газ, характеризиращи се с относително ниски колекторски свойства. В англоезичната литература е прието наименованието Tight Gas. Под него се разбира природен газ съдържащ се в теригенни скали, които са ненапукани, с високо съдържание на циментиращо вещество, с размери на порните канали непревишаващи 0,1 mµ, с проницаемост на матрицата по-ниска от 0,1 md, високо съдържание на остатъчна водонаситеност и с определена механична устойчивост. Общите ресурси от Tight Gas, в световен мащаб се оценяват на над 45 000 млрд. m³, което показва тяхната значимост, като перспективни източници за добив на природен газ. Прегледът на специализираната литература, позволява да бъдат отделени някои общи закономерности по отношение позицията, разпространението, свойствата на слабопроницаемите теригенни наслаги и други характерни признаци, които позволяват насочване на проучвателните и добивните дейности. От значение е прогнозирането на подобни зони на разпространение на Тight Gas и в рамките на България, с цел осъвременяване на съществуващите познания и проучването на подходящи за осъществуващите познания и проучването на съществуващите познания и проучването на подходящи за осъществуващите познания и проучването на подходящи за осъществуващите познания и проучването на подходящи за осъщество на същество на подходящи за осъщество на същество на подходящи за осъщество на същество на подходящи за осъщество на същество.

NATURAL GAS FROM LOW PERMEABLE TERRIGENOUS FORMATIONS (TIGHT GAS) Efrosima Zaneva-Dobranova

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

ABSTRACT. The study of rocks as collectors for natural gas in terms of their specific petrophysical characteristics is essential for predicting the areas other than the conventional notions of their accumulative characteristics. In the world practice the zones of distribution of natural gas are increasingly gaining popularity, characterized by relatively low collectors properties. The name Tight Gas was adopted in the English literature. This specific term holds the meaning of a natural gas contained in terrigenous rocks that are uncracked, high in a pack, the size of a porn channel not exceeding 0,1 mµ, with the matrix permeability of less than 0,1 md, high residual water saturation and certain mechanical resistance. The total supply of Tight Gas, globally estimated at over 45 000 billion m3, shows their importance and quality of a promising sources of natural. A review of the specialized literature allows to separate some general laws regarding the position, distribution, properties of poorly permeable terrigenous sediments and other traits that allow targeting of exploration and mining activities. The prediction of such zones of distribution of Tight Gas and within the teritory of Bulgaria is important due to the modemization of the existing knowledge and research of appropriate for carring out the extraction sites.

Въведение

Изучаването на скалите като колектори за природен газ, от гледна точка на техните специфични особености (резервоарни свойства), е от съществено значение за прогнозирането на зони с различни от общоприетите схващания за акумулативните им характеристики. Част от теригенните разновидности при определени условия, се отнасят към категорията на слабопроницаемите, а съдържащите се въглеводороди са с газов фазов състав -Tight газ.

В световната специализираната литература за този тип газ се споменава от втората половина на миналия век, след откриването на обширни пространства на наситени с природен газ слабопроницаеми теригенни скали.

По мнение на редица изследователи (Naik, 2010; Abdelaziz et al., 2011), добив на природен газ от неконвенционални източници, в това число и от слабопроницаеми наслаги, в близко бъдеще ще има изключително важно значение. То се определя от тенденцията за намаляващите добиви на газ от конвенционални находища и повишаване на цените; все още високата зависимост от въглеводородни енергийни суровини; бурното развитие на техниката и технологиите, които стават в по-голяма степен екологощадящи и започват да придобиват първостепенно значение; отсъствието на значителни по мащаб и много по-скъпи възобновляеми енергийни източници и др.

Целта на настоящето изследване е извеждането на геоложките и резервоарните закономерности, които характеризират слабопроницаемите теригенни тела и отделяне на онези територии от Северна България, в които са възможни перспективни за Tight Gas скали с ниски колекторски свойства.

Състояние и актуалност на проблема

Формации с газонасищане в слабо проницаеми теригенни скали. Природен газ (Tight Gas) се добива от райони, на територията на САЩ, Канада, Австралия,

Мексико, Венецуела, Аржентина, Индонезия, Китай, Русия, Египет, Саудитска Арабия и др.

Пионер в проучването и добива на Tight Gas са САЩ, където през 1960 г. в басейна San Juan са започнали първите изследователски работи. Басейнът е разположен на север от Ню Мексико и южно от Колорадо и съдържа огромни запаси от газ, вместен в разновъзрастни плътни теригенни пластове. Газонаситени зони са установени в района на Калгари в басейна Piceance. Те са с дебелина над 76 m. От тях се добиват по 14 000 m³ /d газ.

Сериозен потенциал на Tight Gas има в района на Скалистите планини, където доказаните запаси през 2000 г. са от порядъка на 0,7 трл. m³ газ, през 2004 г. са нараснали на 1,2 трл. m³ (по оценки на Геоложката служба на САЩ), а потенциалните ресурси от природен газ от района на Северните велики равнини могат да надминат 2,8 трл. m³.

В басейна Uinta, разположен североизточно от щата Юта, са добити над 0,03 трл. m³ газ, а остатъчният потенциал се оценява на 0,9 трл. m³. По оценки на Геоложката служба на САЩ, непроучените ресурси от газ в района на Енглфуд в щата Колорадо съставляват 0,2 трл. m³.

Недалече от Мексико, в Южен Тексас, Tight Gas се съдържа в плътни пясъчници, с проницаемост от 0,1 до 1,5 md, изолирани от глинести скали с ранноеоценска възраст, попаднали в усложнена поднавлачна тектонска структура с дебелина на наслагите от 150 до 360 m, разположени на дълбочина от 1500 до 3600 m.

В теригенната зона Lobo запасите от Tight Gas се оценяват на над 0,1 трл m³.

По данни на Working Document of the NPC Global Oil and Gas Study (July 18, 2007), ресурсите от Tight Gas обезпечават почти 20% от добиваните количества от газ в САЩ и представляват важна част от извлекаемите запаси на природен газ. Сумарно в САЩ се предполагат ресурси от порядъка на 400 трл. m³ газ от плътни теригенни скали.

Уникалната газова зона на Tight Gas е установена в района на Sulige, разположен на север от централната част на басейна Ордоса (Китай). Зоната на газонасищане е с предполагаема площ от 40000 km^{2,} и съдържа ресурси на природен газ от порядъка на 1,68 трл. m³. Тя е изключително сложно построена и представлява съвкупност от пясъчни лещи, барове по долина на палеорека, акумулативни тела и пластове, с широк стратиграфски и дълбочинен диапазон.

В нефтогазоносните басейни, разположени на територията на Русия, 50% от прогнозните ресурси принадлежат към участъци с развитие на слабопроницаеми скали (Аполонов и Лебедев, 2000).

Общите ресурси от Tight Gas, в световен мащаб се оценяват на 45,6 трл. m³. С най-високо процентно участие на настоящия етап са САЩ и Канада, следва Тихоокеанският регион (Китай и Австралия) (Haines, 2006; Victor Hein, 2009).

Терминологични особености. В англоезичната специализирана литература, като терминологичен аналог на природния газ, който се съдържа в слабопроницаеми скали, е прието наименованието "Tight Gas" (Law and Curtis, 2002). В рускоезичната литература (Филиппов, 1967) се употребява словосъчетанието "плотные коллектора газа". В българската специализирана литература отсъства общоприето наименование на типа природен газ, който се съдържа в теригенни резервоарни скали с ниски вместимостни и филтрационни качества. Най-често употребяваните термини за литоложките разновидности, които съдържат природен газ от подобен тип, са "слабо проницаеми литолого-физични тела" (Балинов и др., 1977), "скали с междинни свойства" (Монов, 1973), "колектори с подкондиционни параметри" (Занева-Добранова, 2002). В формулировките основата на са поставени петрофизичните свойства на скалите. Като гранични, кондиционни стойности, в зависимост от специфичната геоложка обстановка и конкретния изследователски мироглед, са заложени различни количествени показатели. По-голяма част от изследователите приемат стойности на проницаемостта равна и по-ниска от 0,1 md (Haines, 2006, Perry and Lee, 2007), но има и други, които приемат стойност на проницаемост около и по-ниска от 0,6 - 0,4 md (China National Petroleum Corporation, 2006; German Society for Petroleum and Coal Science and Technology, 2010).

Според общоприетата у нас класификация на колекторите на Ханин (1969) и др., теригенни скали с проницаемост между 0,1 и 1 md се отнасят към групата на ниско проницаемите (клас V), а с проницаемост по-ниска от 0,1 md – твърде ниско проницаеми (клас VI). Прието е, че колекторите от V клас могат да представляват промишлен интерес само за газови залежи, а тези, които са причислени към VI клас нямат промишлено значение. В подобна логическа последователност е и групирането на скалите по отношение тяхната екранираща способност. Група Е и F отговарят съответно на газопроницаемост пониска и равна на 0,1 md., с размер на порните канали в интервала 0,1 – 1 mµ. Екраниращата им способност е ниска и твърде ниска.

Независимо от смисъла, който се запага в наименованието, това е природен газ, със значителен потенциал в световен мащаб, който се разполага в различни по литоложки състав наслаги. Засилен интерес на настоящия етап предизвикват тези, които са изградени от теригенни по състав скали - пясъчници и алевролити. Такива, които са: с най-високо съдържание на циментиращо вещество; с размери на порните канали непревишаващи 0,1 mu; високо съдържание на остатъчна водонаситеност и с определена механична устойчивост. Към тази група някои изследователи (Naik, 2010 и др.) причисляват и карбонатните скали (варовици, доломити, възможно халит или анхидрит), но поради техните специфични свойства (първичен състав, склонност към напукване, окарстяване и др.), които се проявяват в различни етапи от литогенезата, по-голяма част от тях поскоро представляват интерес като характерен тип колектор за конвенционални въглеводородни акумулации.

Таблица 1.

Общи закономерности, характеризиращи зоните със спабопроницаеми тела, наситени с газови въглеводороди (Naik, 2010, с допълнения).

Закономерности	Кратко описание				
Географска позиция	Практически на всички географски ширини				
Площ	От няколко десетки до няколколко стотици квадратни километра, в площи, значително по- големи от тези на конвенционалните нефтени и газови находища				
Привързаност	Регионална нефтогазоносност с широк стратиграфски диапазон в близост до нефтогазогенериращи скали, до въгленосни образувания, силно уплътнени и незасегнати от вторично тектонско напукване скали в различни участъци на басейна (централни, често привързани към конвенционални находища и периферни), навсякъде, където съществуват благоприятни условия за формиране на природни резервоарни скали				
Условия и среда на	Морски, крайбрежни, лагунни, континентални басейни, субаквална среда, анаеробна				
седиментация	геохимична обстановка при относително преобладаващо потъване на седиментния басейн, в континентални условия при натрупване на въгленосни наслаги				
Литотипове	Различни по състав скали, но основно теригенни				
Морфология	Пластове, прослойки, лещовидни участъци, древни речни корита, барове и др. с разнообразни конфигурации и размери, морфология често онтролирана от физическите параметри на скалите (капилярна бариера); съчетание на литоложка с хидродинамична бариера				
Тип на капана	Структурни, стратиграфски, литоложки, най-често различни от тези на конвенционалните въглеводородни находища, без строго определена геометрия				
Ресурси	Големи ресурси, съпоставими с тези от конвенционалните находища на газ				
Пластова система	Многослойна обширна нееднородна система, характеризира се със сложни пространствени взаимоотношения между скалните асоциации; изискваща комплексни изследователски работи, геоложко и хидродинамично моделиране и симулации				
Взаимоотношение с водата	Водогазов контакт обикновенно отсъства, повсеместно водонаситени скали, многофазно насищане				
Налягане	Нормално хидростатично до повишено (анормално)				
Проницаемост, порестост	Проницаемост по-ниска от 0,1 md и порестост под 10%				
Размер на	В преобладаващата си част не превишаващи 0,1 mµ				
филтриращите канали					
Механична устойчивост на скалите	Повишена плътност и устойчивост (модул на Юнг)				
Коефициент на извличане	Нисък - както за природния газ, така и за водата				
Дебити на сондажите	Дебитите са ниски, а запасите се усвояват по специално разработена схема				

Дискусии и резултати

Закономерности, характеризиращи зони на развитие на слабопроницаеми тела, наситени с газови въглеводороди. Прегледът на специализираната литература, във връзка с изучаването на широк кръг от въпроси, свързани с присъствието на газ в слабопроницаеми скали (Tight Gas), позволява да бъдат отделени някои общи закономерности по отношение позицията, разпространението, свойствата на вместващите наслаги и други характерни критериални признаци (табл. 1). Анализът на геоложките и резервоарните закономерности показва близко родство, между слабопроницаемите скали, съдържащи Tight Gas и теригенните колектори на природен газ. При определени условия слабо проницаемите скали, съдържащи Tight Gas, могат да се разглеждат и като конвенционални източници. Това найвече се отнася за онези от тях, които са елементи от нееднородността на многослойна пластова система, характеризираща се със сложни пространствени взаимоотношения между скалните асоциации. Едновременно с това, прегледът на установените формации в световен мащаб показва, че индивидуалното им присъствие е значително, морфологията е разнообразна, а привързаността им е към различни части на басейните с широк стратиграфски диапазон. Следователно, съществената разлика следва да се търси не толкова в геоложките условия на образуване, колкото в спецификата на проучването им и технологиите за стимулиране на добива.

Слабопроницаеми теригенни тела, перспективни за Tight Gas в Северна България. Като важни фактори за отделянето на перспективни слабо проницаеми теригенни тела. са използвани литолого-фациалните. постседиментационните, петрофизичните (вместимост, проницаемост, капилярометрични характеристики) свойства на теригенните скали, сондажно-геофизичните изследвания и данните от изпитанията на сондажите на приток. Като количествен критерий е използвана оценяващата скала за филтрационните свойства на скалите (Балинов и др., 1977; Дешев, 1980), и оценяващата скала за екраниращите свойства на труднопроницаемите скали (Йорданов и др., 1985). Възприетата гранична стойност на абсолютната проницаемост е 0,1 md, която съответства на клас на проницаемост на колектора - IV, V, група на флуидоупорите - Е, F. Въз основа на тези показатели в границите на Северна България са отделени възможно перспективни хроностратиграфски и литостратиграфски единици, които съдържат газ в слабопроницаеми теригенни литолого-физични тела (фиг. 1) в: палеозоя пермо-триаско); (горнокарбонско, мезозоя (горнотриаско-долноюрско, долно-средноюрско); неозоя (долно-средноеоценско, горноеоценско и олигоценско).

Горнокарбонско слабопроницаемо теригенно тяло. Отделено е в границите на Добруджанския въглищен басейн, където разрезът на Палеозоя е относително добре изучен. В него са обединени няколко литостратиграфски единици, залягащи между въглищните пластове. Това са Гурковската. Полянската. част от Крупенската, Македонската, Вранинската, част от Могилищенската и Велковската свита. Те са изградени от относително еднородни литоложки типове – дребно- до грубозърнести масивни пясъчници, преминаващи и редуващи се с прослойки от гравелити, конгломерати, конгломератни късове от вулкански скали. Анализът на съществуващата информация за техните колекторски свойства показва, че скалите са с ниски петрофизични свойства и невисока степен на газонаситеност. На настоящия етап на изученост не е възможна оценка на газовият потенциал.

Пермо-триаско слабопроницаемо теригенно тяло. Разкрито е в Северозападната и Централната част на Предбалкана в единични сондажни разрези. Наслагите залягат на дълбочина от 3000 до 5500 m. Те са представени от пясъчници и алевролити, с междузърнеста вместимост средно около 1,5% и проницаемост на матрицата - около 0,1 md. Скалите са обхванати от тектонско напукване, което е предпоставка за подобряване на филтрационите им свойства на места.



Фиг.1. Обобщена схема на литолого-физично разчленение на фанерозойския разрез на Северна България с отделяне на перспективни теригенни слабопроницаеми тела (Занева-Добранова и др., 2012)

Горнотриаско-долноюрско

слабопроницаемо

теригенно тяло. Разкрито е в част от Западния Предбалкан и Ломската депресия. Хроностратиграфски обхваща теригенните наслаги на Карн-Хетанж-Синемура (Главашка и Бачийщенска свита). Утайките са с плитководен генезис, образувани в динамични условия на седиментация (реки, плитководни морски басейни, в области на действия на теченията), с ниско съдържание на Сорг. Основните литотипове са дребно- и среднозърнести пясъчници и алевролити, неравномерно глинести и варовити, с междузърнеста вместимост до 8% и газопроницаемост на матрицата около и по-ниска от 0,1 md, високо съдържание на порни канали с размер под 0,1 mµ и високо съдържание на остатъчна водонаситеност (над 70%). Скалите са силно уплътнени и неравномерно напукани. В платформената част залягат на дълбочина от 2900 до 3900 m.

Долно-средноюрско слабопроницаемо теригенно тяло. Обхваща значителна част от Предбалкана, Ломската депресия, Западната и Централна част на Мизийската платформа. В състава му влизат теригеннокарбонатните и теригенните наслаги на Плийнсбаха до Байоса (Долнолуковитски член на Озировската свита, Кичерска свита и Лопянски член на Етрополската свита). Теригенните скали са с ниски петрофизични свойства, класове IV-V по проницаемост. Те са плътни, на места крехки и напукани, с тенденция на увеличаване на степента на напукване в близост до регионалните тектонски разломи. При изпитания от единични сондажи са получени слаби притоци на газ и вода с разтворен газ.

Долно-средноеоценско слабопроницаемо теригенно тяло. Установено е в Долнокамчийското понижение. Обхваща различни нива на конгломератната задруга и Долночифлишкия член на Авренската свита. Представено е от плиткоморски пясъчници, алевролити, мергели, а на места и крайбрежни и флувиално-естуарни конгломерати. Локалитетите с ниски вместимостни и филтрационни свойства обхващат централните райони на понижението в неговата сухоземна част (около Шкорпиловци и Старо Оряхово). Те са неиздържани в латерално и вертикално направление. Дебелината на пластовете се изменя в границите на 50-100 m.

Горноеоценско слабо проницаемо теригенно тяло. Обхваща различни нива на горноеоценския разрез на Долнокамчийското понижение. Има локално развитие. Привързано е към различни нива на Долночифлишкия член на Авренската свита. Изградено е от пясъчници и песъчливи мергели. Нееднородно е по строеж. Обхваща от две до четири проницаеми литолого-физични тела, в които колекторските свойства на скалите бързо се променят в латерална и вертикална посока. Скалите са IV и V класове по проницаемост. Преимуществено са развити в окрайните части на понижението.

Олигоценско слабопроницаемо теригенно тяло. Обхваща различни нива в Русларската свита. Установено е в границите на Варненската моноклинала и Долнокамчийското понижение. С изключение на района на Приселци, и на централната и южната част на Долнокамчийското понижение, слабопроницаемото литологофизично тяло има широко разпространение. Основните литоложки типове са пясъчници и алевролити с прослойки от глини. Дебелината на теригенните скали се изменя от няколко до над 100 т. Колекторските свойства са слабо изучени, но повишените съдържания на глинест материал предполага техните невисоки показатели.

Заключение

Прегледът на световния опит за присъствие на природен газ в плътни слабопроницаеми теригенни скали показва, че те съдържат значителен газов потенциал, който ги доближава по значимост до конвенционалните въглеводородни находища. Независимо от факта, че тяхното проучване и добив се нуждаят от прилагането на специфични методи и технологии, те придобиват все поголяма актуалност, засилен икономически интерес и стимулиране въвеждането на екологосъобразни технологии за извличане.

Целенасочени изследвания, свързани с проучването и извличането на природен газ от плътни, слабопроницаеми теригенни скали в България не са провеждани. До този момент те са разглеждани като "междинен елемент" на резервоарните системи и несправедливо пренебрегвани. Отделените възможно перспективни, слабопроницаеми теригенни тела във фанерозоя на Северна България, обект на разглеждане в настоящето изследване, се нуждаят от допълнително изучаване, както от гледна точка на тяхната позиция в разреза и геометрия, така и от гледна точка на техните резервоарни свойства и съдържащия се в тях газов потенциал. От значение е детайлизирането на подобни тела, съдържащи Tight Gas, не само в рамките на Северна, но и в останалата част на България, където са налице благоприятни общогеоложки предпоставки за тяхното присъствие. Това ще доведе до осъвременяване на съществуващите познания и насочването на проучвателните дейности подходящи КЪМ за осъществяването на добив обекти.

В интерес на българското общество и професионалните среди е познанието върху особеностите за проучване и добив на алтернативни енергийни ресурси, не само от плътни, слабопроницаеми скали, но и от други източници.

Литература

- Аполонов С. В., Б. А. Лебедев. 2000. Геодинамический анализ и стратегия нефтогазопоисковых работ в осодочныйх бассейнах России. - *Разведка и охрана недр.* 6, 8-12.
- Балинов, В., Р. Венева, Е. Дешев. 1977. Оценяваща класификационна схема и литолого-физична характеристика на поровите колектори в Северна България. – *Нефтена и въгл. геология*, 6, 41-52
- Дешев, Е. 1980. Модел от петрофизични и геологопромишлени показатели за класифицирането на междузърнестите колектори (на примера на палеогена на Североизточна България). – сп. БГД, 41, 1, 83-96.
- Занева-Добранова, Е., 2002. Нетрадиционни източници на въглеводородни ресурси. София. МГУ "Св. Ив. Рилски", 108
- Занева-Добранова, Е., Щ. Льомов, А. Ангелов, 2012. Неконвенционални източници на въглеводородни ресурси, технологии и екологични предизвикателства. С., МГУ "Св. Ив. Рилски", 211 с.
- Йорданов, Й., В. Балинов, Е. Дешев, И. Сапунджиева. 1985. О методике количественной оценки изолирующих свойств труднопроницаемых пород. - *Нефт. и въгл. геол.*, 21, 34-41.
- Филиппов, Б. В. 1967. Типы природных резервуаров нефти и газа. М., Недра, 285
- Ханин, А. А., 1969. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение. М., Недра. 366 с.

- Abdelaziz, K, H. Qutob, N. Barakat, H. Harhad, E. M. Yettou, A. Mazouzi, 2011. Taking up unconventional challenge is a game changer in Oil and Gas Industry, www.jeaconf.org/.../e54eeebe-31a2-46b5-b750-c.
- DGMK German Society for Petroleum and Coal Science and Technology. Website: http://www.dgmk.de/, sited: July 25th 2010.
- Perry, K., J. Lee. 2007. Unconventional Gas Reservoirs-Tight Gas, Coal Seams, and Shales. Working Document of the NPC Global Oil & Gas Study, Texas A&M University, 54
- Law, B. E., J. B. Curtis, 2002. Introduction to unconventional petroleum sistems. *AAPG Bulletin*, 86, 1851-1852.

- Haines, L. 2006. Unlocking Tight-Gas Supplies. Oil and Gas Investor/Hart Energy Publishing LP, Houston, Texas, 24
- Naik, G. C. 2010. Tight Gas Reservoirs An Unconventional Natural Energy Source for Future. <u>http://www.pinedaleonline.com/socioeconomic/pdfs/tight_gas</u>.
- Tight Gas Reservoirs. Economical Solutions for Sulige, Gas Field, China National Petroleum Corporation, Magazine. www.total.com/en/.../oil-gas/...gas/sulige-south.
- Victor Hein, P.E., 2009. Evaluation of Tight Gas Resrvoirs. Ryder Scott Company, Oil & Energy, Houston, Texas, 148.

Статията е рецензирана от проф. д-р Йордан Кортенски и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и проучване на полезни изкопаеми".

ПРИРОДНИ РЕЗЕРВОАРИ В ИЗТОЧНАТА ЧАСТ НА ЮЖНОСАКАРСКОТО ПОНИЖЕНИЕ

Ефросима Занева-Добранова, Гергана Мерачева

Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, geoenergy@mgu.bg, g.meracheva@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Във връзка с изясняването на елементи от нефтогазоносната перспективност на различни райони в България е избран регион, който се характеризира с относително слаба геолого-геофизична и сондажна изученост. Той е разположен в Югоизточна България, в рамките на Източнотракийската депресия. Регионът се разглежда като северозападен борд на големия Тракийски басейн. Въз основа на проведените геологопроучвателни и сондажни работи проведени на българската част на Тракийския басейн и данните за резервоарните свойства на едноименни наслаги в района на Турция, в рамките на Южносакарското понижение, са отделени и дефинирани природни резервоари в терциера. Те се характеризират със сложна тектонска и литоложка обстановка на седиментация, продиктувана от разломни нарушения. Това предопределя формирането на разнотипни природни резервоари с локално и зонално разпространение и със сложни пространствени взаимоотношения на съставящите ги колекторни и екраниращи задруги.

HYDROCARBON RESERVOIR SYSTEMS OF THE EAST PART OF THE SOUTH SAKAR DEPRESSION *Efrosima Zaneva-Dobranova, Gergana Meracheva*

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; geoenergy@mgu.bg, g.meracheva@gmail.com

ABSTRACT. As regard the clarification of elements of hydrocarbon potential of different regions of Bulgaria an area is selected, which is characterized with relatively poor geological, geophysical and drilling knowledge. It is situated in Southeast Bulgaria, within the East Trakia depression. The region is considered as Northwest flank of the large Thrace basin. Based on the conducted geological exploration and drilling activities in the Bulgarian part of the Thrace basin and the data of the reservoir properties of the same sequences from the Turkish region, within the South Sakar depression, some hydrocarbon potential reservoir systems with Tertiary age are separated and defined. They are characterized with very complex tectonic and lithological environment of sedimentation, caused by tectonic faults. This determines the formation of various types of hydrocarbon potential reservoirs with local and zonal distribution and complex spatial relationships of the constituent reservoir and seal formations.

Въведение

Дефинирането на природните резервоари в терциерния разрез на територията на Южносакарското понижение, в границите на Източнотракийския басейн (Югоизточна България), е важна предпоставка за изясняването на нефтогазоносната перспективност в тази част на страната. Това се дължи на обстоятелството, че в рамките на големия Тракийски басейн, на територията на Турция, са установени значителни по мащаби нефтени, газови и газокондензатни находища и акумулации. Предварителните проучвания на разреза в Южносакарското понижение, проведени в продължителен период за целите на регионалната и рудната геология и единичните сондажи прокарани в различни части на понижението и съседните структурни единици, са основание за засилен интерес към района. Благоприятният литоложки състав, петрофизичните характеристики, оптималната дълбочина на залягане и дебелина са предпоставка за дефиниране на природни резервоари, привързани към различни нива на терциерния разрез. Отделни елементи, характеризиращи перспективността на скалите в тази част на Югоизточна България, от гледна точка на литоложките особености на терциерния разрез в прилежащи структури, възможностите за съхраняване на CO₂, генерациония нефто-газов потенциал на изграждащите терциерния разрез хроно- и литостратиграфски подразделения, са разглеждани в работите на Дончева и др. (2005), Балинов и др. (2013), Занева-Добранова и др. (2013), Палакарчева, Стефанова (2013). Обектът на изследване, в по-широк мащаб, представлява интерес и за реализирането на търсещо-проучвателни дейности, залегнали в работните програми на големи газови компании.

Кратки сведения за тектонските и литостратиграфските особености

В тектонско отношение разглежданият район обхваща част от Източнотракийската депресия (Boyanov, Goranov, 2001), която представлява късноалпийска наложена структура от колизионно-колапсов тип (Boyanov et al., 1989) и заедно със съседни структури участва в изграждането на Маришката наложена грабенова система. В по-ранни публикации Източнотракийската депресия е наричана депресия на Долна Марица и Ергене (Яранов, 1960), а също така и Източномаришко структурно понижение (Савов, 1972).



Фиг.1 Тектонска схема на изучавания район (по Boyanov, Goranov, 2001)

Тази част от територията Dabovski et. al. (2002) определят като Източносредногорска зона, в която през еоценолигоцена и неогена са отлагани континентални и плиткоморски наслаги. В източно си продължение, на територията на Турция, депресията се означава като Тракийски басейн (Doust, 1974, Huvas et al. 2007). В тази част дебелината на терциерните и кватернерните наслаги надвишава 7000 m.

Южносакарското понижение (фиг. 1), като елемент от Източнотракийската депресия, има специфичен строеж и развитие. Йовчев и др. (1971) го причисляват към Маджаровското предпланинско понижение, което се приема като младопалеогенска депресионна структура, наложена върху интензивно разломената източна част на Родопския масив. Кожухаров и др. (1995) го описват като фрагмент от обширната Източнотракийска депресия, разположен върху южните склонове на Сакар планина. Структурата има характер на моноклинален грабен. Понижението е предистинирано от изток – западни до ССЗ – ЮЮИ и СЗ – ЮИ разломи, които маркират северната и северозападната му периферия. Те имат разседен характер и контролират разпределението на дебелините, взаимоотношенията и разпространението на литостратиграфските единици. Дебелините на терциерните наслаги нарастват от север на юг и от северозапад на юго-изток. Най-голямата премината дебелина на терциера и кватернера е в сондаж Р-1 Генералово, където са отбелязани стойности от 1136 m. На север Южносакарското понижение граничи с южните склонове на Сакарско-Странжанския антиклинорий, на запад и северозапад се ограничава от Лозен-Ибреджекската зона (Boyanov and Goranov, 2001), която е елемент от Източно-родопското понижение и е разделена на две по-нискоразрядни структурни единици: на север -Лозенска депресия и на юг – Ибреджекска хорст антиклинала. На юг и югоизток, на турска територия с генерална посока изток-запад, Южносакарското понижение преминава в Тракийския басейн и се разглежда като негов северозападен борд.

Терциерният разрез в Южносакарското понижение е изграден от скален комплекс на еоценската и олигоценската серия и неогенската система. Той заляга дискордантно над различни нива от пред палеогенски фундамент или по-стари палеогенски задруги и се покрива частично или изцяло от алувиалните, пролувиалните и алувиално-делувиалните наслаги на кватернера. В основата на терциерния разрез, по данни от сеизмичните изследвания, се разкриват наслагите на палеоцен-еоцен (?). причислени към Бисерска и Лешниковска свита. Независимо от това, че те не се явяват характерни за Южносакарското понижение (Кожухаров и др., 1995), на сеизмичните разрези на север от сондаж Р-1 Свиленград. се отделя зона с неясна конфигурация и с характерен песъчливо-конгломератен фациес (фиг. 2 и 3). Над тях или върху допалеогенов фундамент се разполага Брекчоконгломератна задруга (2Pg23) (приабон), която е изградена от слабоспоени брекчи, брекчоконгломерати и дебелослоести червени (основно в западните части на Южносакарското понижение) пясъчници и гравелити. На север Брекчоконгломератната преминава в Конгломератнопесъчлива задруга. По южните склонове на Сакар планина тя се разкрива на повърхността и е представена основно от червени пясъчници. Дебелината на задругите е променлива и достига до около 50 m. Те трансгресивно се покриват от Теригенно-варовиково-глинеста задруга (3Рд23), която е хроностратиграфски аналог на Въгленоснопесъчливата в Източнородопското понижение. Теригенноваровиково-глинестата задруга е със специфичен за района на изследване теригенно-карбонатен фациес, представен от сложна алтернация от мергели и глинести варовици, пясъчници и варовити конгломерати. Задругата преминава в Пирокластично-мергелно-варовикова (4Ра²³) с постепенен литоложки преход. Като отличителен нейн белег е присъствието на кисели туфи и туфити, сред които присъстват глини, мергели или варовици. Задругата заема относително големи площи в източната част на южния склон на Сакар планина. В най-горната й част се отделя Мергелно-варовикова пачка – представена от бели и светлосиви органогенни (рифови) варовици. Те се открояват в



Фиг. 2. Сравнителна характеристика на терциерните наслаги в различни части на Тракийския басейн (по Huvas, 2007 с допълнения и модификации)

профила на палеогена в южния склон на Сакар. Пачката е известна и още като "Рифово-карбонатната задруга". Тя се явява характерна "бариерна преграда", която е указание за обстановката на седиментация и размерите на палеогенския басейн в границите на Източнотракийската депресия. Нагоре по разреза с постепенен преход следва Мухаджирската група (олигоцен), корелат на Глинестомергелната (Кожухаров и др., 1995) задруга (Pg3). Тя е характерна за Южносакарското понижение и според някои автори (Шиляфов и др., 1972, непубл. данни) е основен градивен пълнеж на понижението. Задругата включва: Долна теригенно-карбонатна серия, представена от незакономерно редуващи се варовити глини, алевролити, мергели с прослойки от разнозърнести пясъчници и Горна теригенна серия – изградена от глини с прослойки от пясъчници и алевролити. Седиментите са с добре изразена хоризонтална слоестост. Характерни са т.н. хартиени шисти и тънкослойни глини, които на места са обогатени с въглищни глини. Дебелините на еоценските и олигоценските наслаги надвишават 1000 m.

Палеогенските отложения се покриват трансгресивно и дискордантно от континентални неогенски седиментни скали, включени в обхвата на Ахматовската свита (меоткъсен плиоцен). Тя е изградена от дребнокъсови чакъли, гравии, гравелити, пясъци, пясъчници, алевролити и глини. По-грубите седиментни скали запълват погребани речни долини. Пролувиално-алувиалните по произход утайки на Ахматовската свита бележат нова тектонска обстановка в края на миоцена и през целия плиоцен. Дебелината на наслагите достига до 230 m.

От гледна точка на поставените цели на настоящето изследване, най-голям интерес представляват източните части на Южносакарското понижение.

Природни резервоари

Сравнителна характеристика на терциерните наслаги от Южносакарското понижение в Източнотракийската депресия и нейното продължение на територията на Турция. На базата на съвремената представа за геоисторическото развитие и геоложкия строеж на изучаваната територия, като елемент от Източнотракийската депресия, се предполагат сходни условия на образуване на терциерните елементи в рамките на обширен и сложно построен басейн. Това предполага формирането на еднотипни природни резервоари. Сравнителната характеристика е продиктувана от високата степен на изученост на геоложкия разрез, установените мащабни нефтени, газови и газокондензатни находища и акумулации на територията на Турция, от една страна и относително ниската степен на геолого-геофизична и сондажна изученост на територията на Източнотракийската депресия, в това число и Южносакарското понижение от друга. Елементите за сравнение се базират на данните от описанията на разкритията и изследванията в единични сондажни разрези в и извън територията на понижението.

На територията на Турция, във формация Хамитабат (фиг. 2), с еоценска възраст, е разположено най-голямото газо-нефтено находище в Тракийския басейн – Hamitabat (Conybeare et. al, 2004). Формацията е изградена от прослойки от пясъчници, алевролити и глини. Нефто-газонаситени са пясъчниците, които притежават вместимост около 10%, проницаемост в диапазона 0,1-1 md и нефтонаситена дебелина над 15 m. В едновъзрастната формация Коюнбаба, изградена от конгломерати, вместимостта достига до 17%. В нея са установени газонефтените находища Девечатаги и Дегирменкой. По условия на седиментация и литоложки състав наслагите на формацията са близки до приабонската Брекчоконгломератна задруга, разкрита в Южносакарското понижение. Това се потвърждава от данните, получени от дълбокия сондаж Р-1 Свиленград, където долната част на горен еоцен е представена от брекчи, брекчоконгломерати и дебелослоести пясъчници.

Отгорележащата еоценска задруга, с теригеннокарбонатен състав в Южносакарското понижение, може да представлява аналог на формация Джейлян от турската част на басейна. Формацията е изградена основно от теригенни наслаги. В пясъчниците са измерени стойности на вместимостта 10-18%.

В най-горните нива на еоцена, на територията на Тракийския басейн в Турция, са установени плиткоморски шелфови варовици и дълбоководни карбонатни аргилити на формация Содукак, към която са привързани газовите находища Девечатаги, Мармара и Кумрулар. Вместимостта на резервоарните скали е 10-13%. Тази формация може да бъде частичен аналог на Пирокластично-мергелно-варовиковата задруга или на Мергелно-варовиковата пачка от българската част.

Пирокластично-вулканогенните наслаги, представени с глинесто-теригенно-карбонатен фациес, в района на Южносакарското понижение, могат да се явяват корелат на формация Джейлян на турска територия. Туфозните пясъчници на формацията притежават високи резервоарни свойства (фиг. 2). Тук са съсредоточени значителни по мащаб газови и нефтени акумулации.

Теригенно-карбонатните наслаги на Глинестомергелната задруга (олигоценска серия) са близки до тези на формациона група Мухачир в Турция. В теригенните резер- воарни скали на тази група са съсредоточени находищата Гоцерлер, Адатепе, Кайрдере, Дегирменкой, Умурка и Силиври. Вместимостта на пясъчниците надминава 20%, а проницаемостта достига до 10 md. Акумулациите са предимно от газов тип със значителен потенциал.

В дебелия проницаем теригенно-карбонатен разрез на неогена (миоцен) в Тракийския басейн са установени газово-нефтени акумулации и проявления, съсредоточени във формации Gazhanede, Kirazli и Alcitepe. Аналогични наслаги на територията на Южносакарското понижение отсъстват.

Характеристика на природните резервоари. На базата на сравнителната характеристика, познанията ни за развитието на седиментационния басейн през терциера, в източната част на Южносакарското понижение са дефинирани колекторни и изолиращи задруги, като съставни елементи на природни резервоари. Важна роля при формирането на взаимоотношенията между тях имат резките фациални изменения във вертикална и хоризонтална посока. Те са продиктувани и контролирани от разломните нарушения (фиг. 3), като най-силно влияние са оказали тези с посока северозапад-югоизток. Относително ограничения обем геолого-геофизична и сондажна информация затруднява проследяването на пространствените взаимоотношения. както между колекторните и изолиращите задруги, така и между природните резервоари.

Във връзка с направените коментари и описания в терциерния разрез на Южносакарското понижение са дефинирани три природни резервоара – два от тях в наслагите на еоцена и един – в олигоцена.

Еоценски природен резервоар привързан към Брекчоконгломератната задруга. Литостратиграфският обхват на колекторната задруга обхваща Брекчоконгломератната и част от Теригенно-варовиково-мергелната задруга. В основата са брекчоконгломерати, преминаващи и редуващи се със слабоглинести и различно варовити пясъчници. Тя има широко разпространение. Дебелината й достига до 400 m. Данните за физичните параметри на колекторните скали са ограничени. Предвид литоложкото разнообразие се предполага широк диапазон на изменение на петрофизичните свойства. По данни от лабораторните и сондажно-



Фиг. 3. Геоложки разрез в Южносакарското понижение (на базата на интерпретирани сеизмични разрези от района)

геофизичните изследвания в сондаж P-1 Свиленград, откритата вместимост варира от 6 до 12%. При изпитание в сондажа е получен приток от вода с дебит 39,6 m³/d.

На север от района на сондаж P-1 Свиленград под Брекчоконгломератната задруга залягат теригенните скали на Бисерската и Лешниковската свита (фиг. 3). Характерът на сеизмичните записи, подсказва изолираното им присъствие в района. Литоложкият състав, данните за строежа и характеристика на аналогичната им формация Натitabat, позволяват приобщаването им в ограничени райони към колекторните скали на Брекчоконгломератната задруга.

Глинесто-карбонатните наслаги на горен еоцен, залягащи над колекторната задруга, играят ролята на изолираща покривка. Тя е премината от един сондаж, което не позволява да се проследи, пространственото й разпространение. Данни за изолиращите свойства отсъстват, но предвид литоложкия състав на скалите и обстоятелството, че подобен тип наслаги екранират нефтени и газови акумулации извън територията на България в рамките на Тракийския басейн, могат да се предполагат добри екраниращи свойства. В сондаж Р-1 Свиленград дебелината й е около 350 m. За подложка служат допалеогенски труднопроницаеми скали.

Еоценски природен резервоар привързан към Теригенно-варовиково-глинестата и "Рифово-карбонатната задруга". Хроностратиграфският обхват на колекторната част обхваща горен еоцен. В основата се редуват пясъчници и конгломерати, които нагоре по разреза са в алтернация с глини и алевролити. Над тях залягат мергели, сред които на север са установени органогенни, рифови варовици. Петрофизичните свойства на скалите не са определяни, но предвид литоложкия състав и резервоарните характеристики на корелата в турската част на басейна, те могат да бъдат оценени като благоприятни.

За изолираща покривка служат киселите туфи, с прослойки от глини, мергели или варовици с еоценска и олигоценска възраст. Дебелината на покривката достига до 200 m. По пъстрия литоложки състав може да се предполагат променливи изолиращи свойства. За подложка служат средноеоценските варовиково-мергелни скали на Теригенно-варовиково-глинестата задруга, а на местата, където те отсъстват допалеогенските труднопроницаеми скали.

Олигоценски природен резервоар привързан към Мухаджирската група. Хроностратиграфският обхват на колекторната част е в границите на олигоценската серия. Колекторните скали са пясъчниците и алевролитите, които послойно се редуват с глинести скали. Те са с различна дебелина и пространствено развитие. Заемат горната част на Мухаджирската група, отделена като Горна теригенна серия. Данните от лабораторните изследвания на пясъчниците показват вместимост от 9 до 25% и проницаемост -2-6 md. По данни от изпитанията в сондаж С-3 Капитан Андреево, в интервал 300-450 m, е получен приток на газ с дебит 980 m³/d и минерализирана вода – с дебит 3,8 m³/d, а в интервал 130-182 m, притокът е от газ с дебит 1270 m³/d и високо минерализирана вода - с дебит 5,7 m³/h. Анализът на лабораторните данни и информацията за резервоарните свойства на корелата в турската част дават основание теригенните разновидности да бъдат отнесени към скалите с добри резервоарни свойства.

Изолираща покривка са глинестите наслаги от Мухаджирската група, залягащи в горните й части. В участъците на отсъствие е възможна хидродинамична връзка с отгорележащите пролувиално-алувиални наслаги на Ахматовската свита. Съдейки по резултатите от изпитанията в сондаж С-3 Капитан Андреево, в който се наблюдава повишена минерализация на водите, а така също и способността на подобни скали да екранират газови и нефтени акумулации извън територията на страната, могат да се предполагат добри изолиращи свойства.

За подложка служат глинесто-теригенно-карбонатните наслаги в Долната теригенно-карбонатна серия на Мухаджирската група.

Заключение

Въз основа на съвременните представи за геоисторическото развитие и строеж на Източнотракийската депресия и нейните съставни структурни елементи, може да се предполага, че условията за образуване на терциерните седименти са близки в различните части, в това число и с тези, които изграждат големия Тракийски басейн извън територията на България. Това предполага сходство и във формирането на природните резервоарни системи.

Усложненият тектонски строеж от присъствието на разломни нарушения с различна амплитуда и насоченост, е предпоставка за значителни фациални изменения във вертикална и хоризонтална посока. Това предполага и сложни пространствени взаимоотношения между колекторните и изолиращите задруги. На тази основа се предполага наличието на сложни резервоарни системи в терциерния разрез на Южносакарското понижение, с елементи на пластови, пластово-масивни и литоложкоограничени типове природни резервоари, усложнени от тектонски нарушения, с локално и зонално разпространение, с възможни хидродинамични прозорци.

За по-пълното им изясняване са необходими допълнителни геолого-геофизични и сондажни работи и лабораторни изследвания с прилагане на съвременни методи за моделиране на геоложкото пространство.

Литература

- Балинов, В., Е. Занева-Добранова, М. Дончева. 2013. Природни резервоари в Горнотракийската депресия. -Межд.конф. "Геология и въглеводороден потенциал на Балканско-Черноморския регион, Варна, 130-138.
- Дончева М., В. Балинов, Е. Занева-Добранова. 2005. Литоложки предпоставки за търсене на природни

резервоари в терциерния разрез на Югоизточна България. *Год. МГУ*, т. 48, св. 1, 53-57.

- Занева-Добранова, Е., В. Балинов, М. Дончева. 2013. Перспективни геоложки формации за съхраняване на въглероден диоксид в Маришкия басейн (Горнотракийска депресия – Ю. България). – Год. МГУ, т. 56, св. 1, 80-86.
- Кожухаров, Д, Ив. Боянов, Е. Кожухарова, А. Горанов, С. Савов, Г. Шиляфов. 1995. *Геоложка карта на* България, Картен лист Свиленград
- Йовчев, Й., А. Атанасов, И. Бояджиев. 1971. *Тектонски* строеж на България. С., Техника. 558.
- Палакарчева, Г., М. Стефанова. 2013. Генерационен потен-

циал на скалите от българската част на Тракийския басейн. Год. МГУ, т. 56, св. 1, 86-92.

- Atanasov, G. D., A. G. Goranov. 1984. On the paleogeography of the Eastern Rhodopes, - *Contens rendus de L'Academie Bulgar des Scences*, 37, 6, 783-784.
- Boyanov, I., Ch. Dabovski, P. Gocev, A. Harkovska, V. Kostadinov, Tz. Tzankov, I. Zagorcev. 1989. A new view of the alpina tectonie Evolution of Bulgaria. – *Geologica Rhodopica*, 1, 107-121.
- Boyanov, I., A. Goranov. 2001. Late Alpine (Palaeogene) superimposed depressions in parts of Southeast Bulgaria. -*Geologica Balcanica*, 31, 3-4, 3-36.
- Conybeare, D. M., S. Cannon, O. Karaogus, E. Uygur. 2004. Reservoir modeling of Hamitabat Field, Thrace basin, Turkey: an example of a sand-rich turbidite system. -*Geological Society, London, Special Publications*; v. 222; p. 307-320.
- Dabovski, C, I. Boyanov, Kh. Khrischev, T. Nikolov, I. Sapunov, Y. Yanev, I. Zagorchev. 2002. Structure and Alpine evolution of Bulgaria. - *Geologica Balcanica*, 32, 2-4, 9-15.
- Doust, H., Y. Arıkan. 1974. The geology of the Thrace Basin. Proceedings of the 2nd Petroleum Congress of Turke, Ankara, pp. 227–248.
- Goranov, A.G., G. D. Atanasov. 1992. Litostratigraphy and formation conditions of Maastrichtian – Paleocine deposit in Krumovgrad District. – *Geol. Balkanica*, 22, 3, 71-82.
- Huvas, O., N. Karahanoglu, V. Ediger. 2007. The thermal gradient history of the Thrace basin, NW Turkey: Correlation with basin evolution processes. – J. Petrol. Geol., 30, 1, 3-24.

Статията е рецензирана от гл.ас. д-р Христо Димитров и препоръчана за публикуване от кат. "Геология и проучване на полезни изкопаеми".

GEOHAZARD DESCRIPTION FOR SOFIA IN THE FRAME OF THE PANGEO PROJECT

Kalin Ruskov, Stanislav Stoykov

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

ABSTRACT. PanGeo project is a 3-year Collaborative Project of the European Commission that started 1st February 2011. During the project PanGeo provide free online geohazard information for 52 of the largest towns in Europe, mapping geohazards that could potentially affect up to 13% of the EU population. The GeoHazard Description for Sofia was prepared as support for the PanGeo Ground Stability Layer (GSL) of Sofia (intermediate product), Bulgaria. The area covered by the GSL corresponds to the administrative area of Sofia Municipality (~1,342 km²) and includes the City of Sofia and other surrounding boroughs. The identification of geohazards was performed through combined interpretation of geological, land use and other geospatial layers together with satellite Persistent Scatterers (PS) ground motion data for 1992-2003 for the city of Sofia, by processing ERS-1/2 SAR with the Interferometric Point Target Analysis (IPTA) algorithm. The results of PanGeo project are included also in OneGeology-Europe portal which aims to create dynamic digital geological map data for Europe.

ОПИСАНИЕ НА ГЕОЛОЖКИТЕ РИСКОВЕ ЗА РАЙОНА НА ГРАД СОФИЯ КАТО ЧАСТ ОТ ПРОЕКТА ПАНГЕО КалинРусков, Станислав Стойков

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

РЕЗЮМЕ. РапGeo е 3-годишен съвместен проект на Европейската комисия, който започна на 1 февруари 2011 година. По време на проекта PanGeo осигури безплатна онлайн информация за геоложките рискове за 52 от най-големите градове в Европа и картографиране на reopuckoвете, които потенциално биха могли да засегнат до 13% от населението на ЕС. Геоложките рискове описани за София се получават както част от PanGeo Ground Stability Layer (GSL) за София (междинен продукт), България. Районът, обхванат от GSL картата съответства на административна област на Столична община (~ 1342 km²) и включва град София и други населени места. Идентифицирането на георисковете е извършено чрез комбинираното тълкуване на геоложки, данни за земеползване и други геопространствени слоеве заедно със сателитни (PS) данни за земеното движение за периода 1992-2003 г. за град София, чрез преработка на ERS-1/2 SAR с InterferometricPointTargetAnalysis з (IPTA) алгоритъм. Резултатите от проекта са включени в портала ОлеGeology-Europe имащ за цел създаването на дигитална геоложка карта на Европа.

Introduction

PanGeo project provides information describing the stability of the ground. Ground instability can be dangerous and costly, yet information on these phenomena has, to date, been difficult to obtain (Frey et al., 2012). PanGeo provides free access to ground instability geohazard information for many of Europe's largest cities (Cigna et al., 2012). Users of the PanGeo service include local authorities, civil protection agencies, geological surveys, insurers and businesses providing environmental and land reporting services and of course the general public (Bateson et al., 2011; Jordan et al., 2011).

PanGeo provides open access to validated and INSPIRE compliant geohazard products for 52 cities and towns. Products are generated by the European geological surveys; using satellite derived terrain motion data and integrated with geological information.

The University of Mining and Geology is responsible for the generation of the PanGeo products for Sofia and Varna, Bulgaria. This paper presented the results obtained for Sofia.

The product consists of the polygon-wise Ground Stability Layer (GSL) showing location, extent and typology of the observed and potential geohazards, and the GeoHazard Description (GHD) document, a supporting report whichdescribes in detail the geological setting and places of interest affected by each geohazard, the confidence and any additional evidenceassociated with the interpretation.

PanGeo project provides a 'ground stability layer' product which describes the spatial location and extent of geohazards for all the towns mapped. Each polygon within the ground stability layer is linked to a full interpretation made by that country's National Geological Survey. PanGeo data is created by combining the following information:

• Satellite measurements of ground and building movement

Geological informationalreadyheldby National GeologicalSurveys.

Also included in the PanGeo product is the European Commission's Urban Atlas land use data; this provides insights into what types of urban land use are affected by geohazards described in the ground stability layer. Access to the GSL and the GHD for a town is via the PanGeo website (www.pangeoproject.eu).

The area covered by the GSL of Sofia (fig. 1), a ~1,342km², area that includes the City of Sofia and other surrounding boroughs, with a total population of about 1,3 million inhabitants in 2011 (~5,200 inhabit/km²). Urban areas cover ~

258km² while the Sofia town covers ~ 153.6km². Mountains and forest units cover ~618km². Agriculture and semi-natural areas are mainly concentrated in the external sectors of Sofia, for a total of 309km².

Geological settings

The Sofia valley is situated between West Balkan Mountain unit (part of the Balkan zone) and Western Srednogorie Mountain unit (part of the Srednogorie zone).

The West Balkan Mountain unit is composed of greenschist facies Vendian-Cambrian ophiolite, island-arc and olistostrome assemblages at the base, overlain by Ordovician, Silurian and Lower-Middle Devonian slates and clastic rocks, Upper Devonian to Lower Carboniferous flysch, Upper Carboniferous coal-bearing continental sediments and Permian clastics. The Mesozoic succession begins with Triassic clastics and platform carbonates, followed upward by Lower-Middle Jurassic continental to shallow marine sediments and a dominantly carbonate succession of Late Jurassic to Late Cretaceous-Paleocene age. Lower-Middle Eocene continental to shallow marine clastic and carbonate sediments are locally exposed. The main compressional deformations are of Late Cretaceous age. Mid-Eocene thrusting over the Moesian platform affected the northern periphery of the unit.

The West Srednogorie Mountain unit is composed of locally exposed high-grade metamorphic rocks of Precambrian (?) age at the base, overlain by Devonian flysch, Permian clastics, Triassic platform carbonates, Jurassic shallow marine clastics and carbonates, Upper Jurassic - Lower Cretaceous flysch and Lower Cretaceous carbonate successions (Dabovski et al., 2002). The Upper Cretaceous section begins with Cenomanian-Turonian continental to shallow-marine clastics and shales, followed upward by an over 4 km thick Coniacian-Campanian volcano-sedimentary succession that is transgressively overlain by Campanian-Maastrichtian shales and carbonates. Typical magmatic rocks are basic to intermediate varieties of the calc-alkaline and high-potassium calc-alkaline series with shoshonitic trends in some polyphase plutons. The cover comprises Oligocene and Neogene continental sediments.

The Vitosha paleovolcano is situated south of Sofia. Part of the city is situated on its products. The Vitosha volcano is largest well shaped volcanic structure in the Western Srednogorie zone (Zhelev, 1982, 1988). The volcano products are presented by lava flows and lava breccias. Their thickness is from 10 to 80-100m. They are Ca-alkaline and of basaltic to andesitic chemistry.

The subvolcanic rocks related to the Vitosha volcano are represented by numerous dykes, situated near the volcanic centre. They are of basaltic-andesite to andesitic and dacitic chemistry. Pyroclastic rocks outcrop on the northern slopes of the Vitosha Mountain. The Vitosha pluton is of area about 120 km². It isintruded in the central part of the volcano (Zhelev, 1982, 1988). The plutonic rocks are gabbros, monzonites, syenites and aplitic granosyenites.

Rock complexes outcropped in the Sofia area are presented by Upper Cretaceous magmatic products and sediments, Paleogene sediments and Quaternary depositions. Upper Cretaceous rocks are presented by sediments: sands and marls, volcanic products: lavas ofandesitic composition, tuffs and subvolcanic bodies. The Paleogene sediments are thick complexes represented mainly by clays, sands, gravels and conglomerates. The Quaternary depositions are built up predominately by aluvial and proluvial sediments. They consistof gravels, sands and clays.

Input data

PanGeo thematic services are based on advanced satellite interferometry products; however they exploit additional data sources.During the interpretation of Sofia and surrounding area a series of geologic datasets composed primarily of recent vector geological maps Scale 1: 100000 are used. The biggest part of the data are restricted, some of them are available in the National Geofond (vector Geological maps in 100 000 or 50 000 scale) or in the Sofia municipality.

PSI processing and methodology

Persistent Scatterer Interferometry (PSI) is the mostadvanced class of differential interferometric Synthetic Aperture Radar techniques (DInSAR) based on data acquired by spaceborne SAR sensors. One of the advantages of PSI is its sensitivity to small deformations, which in terms of deformation velocity are in the region of 1 mm/yr. PSI also offers wide-area coverage (ERS standard imagery, for instance, cover 100 by 100 km) typically associated with a relatively high spatial resolution (Ferretti et all., 2001).

PSI processing was carried out in the period between 11 December 1992 and 05 October 2003. It was used two satellite data type – ERS-1 and ERS-2 and 57 number of scenes. For this period were identified 37399 number of PS. The Average PS density (PS/km²) is about 48.

The area shows wide spread stability (table 1). There are a couple slow moving areas in the center of the scene, showing some movement away from the satellite. A clear moving area is identified on the north-east corner of the scene: in that case, both movement towards and away from the satellite is measured.

PS motion statistics (mm/year	Number of points in				
classes)	each mm/year class				
-27.51 to -5	24				
-5 to -3.5	71				
3.5 to -1.5	1724				
-1.5 to +1.5	34357				
+1.5 to +3.5	1214				
+3.5 to +5	7				
+5 to +6.65	2				
Average annual motion rate	0.01				
of the entire processed area					
Standard deviation of average	0.77				
annual motion rate	0.11				

Table 1


Fig. 1. Persistent Scatterers (PS) ground motion data for 1992-2003 for the city of Sofia





A summary of the identified ground instabilities

Geological conditions capable of causing damage, or loss of property and life, are called geological hazards and commonly referred to as "geohazards". PanGeo is specifically focused on geohazards relating to ground instability and mapping phenomena in the urban environment where there effect is most damaging. Ground movements (upwards, sideways or downwards) can be caused

by a wide range of natural and manmade geological processes with some processes being so slow as to be imperceptible to the naked eye whilst others may cause large scale obvious movement in the ground. Whatever the "geohazard" they have the potential to severely damage urban infrastructure and buildings (Bateson et al., 2011).

Geohazards can be descripted as either 'potential' or 'observed'. A potential geohazard existsin the case that the local geology makes is more probable for ground movement to occur even if movement has not been measured. At the other hand observed geohazards are where ground movement has been measured (by whatever method). The PanGeo ground stability layers captures both potential and observed geohazards.

In PanGeo project ground stability geohazards are grouped into common classification themes describing the broad scale processes at work (Cigna et al., 2012):

1) Deep ground motions

- Earthquake (seismic) hazard
- Tectonic movements
- Salt Tectonics
- Volcanic Inflation/deflation
- 2) Natural ground instability
- Landslide
- Soil Creep
- Ground Dissolution
- Collapsible Ground
- Running Sand/ Liquefaction
- 3) Natural ground movement
 - Shrink-swell clays
 - Compressible Ground
- 4) Man-made ground instability
 - Ground water management Shallow compaction
- Ground water management Peat oxidation
- Groundwater abstraction
- Mining
- Underground construction
- Made ground
- Oil and Gas Production
- 5) Other

In this research for the city of Sofia ware recognized geohazard polygons mainly in two groups - Natural ground instability and Man-made ground instability. The first one describes ground conditions where there is a propensity for upward, lateral or downward movement of the ground. Some movements associated with particular hazards may be gradual or occur suddenly and also may vary from millimeter to meter or even tens of meters scale. Man-Made Ground Instability are ground motions covering a local area brought about by the activity of man. Subsidence (downward movement) of the ground can result from a number of different types of anthropogenic activity, namely mining (for a variety of commodities), or tunneling (for transport, underground service conduits, or for underground living or storage space).

The Ground Stability Layer is represent a collection of polygons representing areas of ground instability within the Sofia.Potential for natural ground movements is observed for the majority of the area of interest. Geohazards observed through the PS data include both natural processes (landslide) and anthropogenic instability due to underground construction, recent engineering works and mining. There were identified 40 geohazard polygons (fig. 2) over city of Sofia in 3 different categories (geological risk, industrial area, mining sites). The polygons which fall in first category (mainly landslides) cover ~ 46 km²; the mining sites polygon cover ~ 160.7 km²; the industrial area polygons cover ~ 12.5 km².

In geological risk category there are identified 15 polygons. The hazard type is recognized as landslide and confidence level is high (fig. 2). There are 22 polygons which are recognized in hazard category Anthropogenic GroundInstability (fig. 2). That is quarries from hazard type mining with external confidence. The industrial area polygons are situated in the downtown (fig. 2). Hazard type is Underground Construction and other. Confidence level is medium. There are 3 polygons of this type. All of the identified geohazard polygons are descripted as "potential".

Detailed information for all of these 40 polygons is an available in Geohazard DescriptionDocument for Sofia (Stoykov et al., 2013). For each polygon is made geological interpretation of the motion which include the mechanisms that are at play including the relationships between the interpreted ground stability areas and the geological and ancillary datasets.

It is used a digital terrain model created with the mission of the space shuttle in February 2000, known as SRTM (shuttle radar topographic mission) and having a resolution of 90 m (pixel size).

The product created by PanGeo is a web-based geoportal based on the One-Geology Europe infrastructure. Within this geoportal isa Ground Stability Layer for each of the 52 towns for which PanGeo information is tobe made available. In the geoportal the Ground Stability Layer will be automatically integrated with the Urban Atlas data. Since the Urban Atlas gives information on land cover types (exposure) and the Ground Stability Layer provides information on hazards the user can make informed decisions on risk. The portal provides the ability to both view and download theGround Stability Layer and Geohazard Summary (as GHD).

Conclusions

Combined interpretation and integration of geological maps, land-use layers and other geospatial information with ground motion estimates derived from Persistent Scatterers data in the period between 1992 and 2003 allowed the identification and mapping of observed and potential geohazards in 40 polygons over Sofia valley. The identified geohazard polygons include both natural processes and anthropogenic instability This information is synthesized and made available to the public through the PanGeo Ground Stability Layer and Geohazard Description document, and will act as a support for local authorities, planners, regulators and decision makers in their long and short term lan-duse planning and risk management activities.

PanGeo represent an online service that provides to all users open access to geohazard information across European cities and towns down to a mapping scale of 1:10 000. Geohazards are natural and man-made phenomena that make the ground unstable and in a built environment can be both costly and dangerous. PanGeo's geohazard products have been created to improve decision making and reduce risk. PanGeo data can be viewed in Google Earth or via the integrated "portal".

The results of Pangeo project are included also in OneGeology-Europe portal (http://onegeologyeurope.brgm.fr/geoportal) which aims to create dynamic digital geological map data for Europe. This geological portal will make a significant contribution to the progress of INSPIRE directive- i.e. develop systems and protocols to better enable the discovery, viewing, downloading and sharing of core European spatial geological data. OneGeology-Europe portal will make geological spatial data held by European geological surveys both discoverable and accessible.

Acknowledgements. This work is performed in the framework of the EC-FP7 PanGeo project (http://www.pangeoproject.eu). Grant Agreement 262371.

References

- Bateson, Luke; Glanfield, Graham. 2011PANGEO: enabling access to geological information in support of GMES:D3.1: survey team requirements and recommendations. Version 1.British Geological Survey, 37pp.
- Cigna, F.; Jordan, H.; Bateson, L. 2012.Geohazards in Greater London: the Ground Stability Layer of the EU FP7 PanGeo project.*In: RSPSoc2012, London, UK, 12-14 Sept 2012.*

- Jordan, Colm; Bateson, Luke; Glanfield, Graham. 2011PANGEO: enabling access to geological information in support of GMES:D3.1: survey team requirements and recommendations. Version 2.European Commission, 37pp.
- Dabovski, C., Boyanov, I., Khrischev, Kh., Nikolov, T., Sapunov, I., Yanev, Y., Zagorchev, I. 2002.Structure and Alpine evolution of Bulgaria. – *GeologicaBalc.*, 32, 2-4; 9-15.
- Ferretti, A.; Dipt. diElettronica e Inf., Politecnico di Milano, Italy; Prati, C.; Rocca, F. 2001. Permanent scatterers in SAR interferometry. *Geoscience and Remote Sensing*, *Volume*:39, Issue: 1, 8-20.
- Frey, O., GammaRemote Sensing AG, Guimligen, Switzerland;Wegmuller, U.;Werner, C. 2012. Terrain motion measurements over European urban areas using Persistent Scatterer Interferometry. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International, 7565 – 7568.*
- Stoykov, S., K. Ruskov, B. Rangelov. 2013. Geohazard Description for Sofia. GMES.European Commission. Research Executive Agency. 113 pp. http://www.pangeoproject.eu/pdfs/english/sofia/Geohazard-Description-sofia.pdf.
- Zhelev, V. 1988. The Vitosha central magmatic structure. *GeologicaBalc.*, 18, 5; 33-51.
- Zhelev, V. 1982. Characteristic and development of the Vitosha central magmatic structure. *Ph. D. Dissertation.*,

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

LASER "RAMAN" SPECTROSCOPY OF ANGLESITE AND CUBANITE FROM DEPOSIT "CHELOPECH"

Dimitar Petrov

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

ABSTRACT. Using a laser "Raman" spectroscopy are found not listed at this moment minerals in the deposit "Chelopech", namely Anglesite (PbSO₄) and Cubanite (CuFe₂S₃). The main advantages of spectroscopic methods are successful chemical and structural characteristics of the samples in sizes less than 1 µm in diameter, as well as rapid and specific identification of minerals and ores. The values of the acquired spectral peaks in the analysis of minerals from the studied rock samples, differed by about 1-2 cm⁻¹ with those of a database RRUFF and in literature, which is perfectly acceptable, as the difference could be due to the inclusions of another minerals or elements within the researched mineral, or interference in medium during the process of analysis. Anglesite is a typical Pb-containing secondary mineral. Spatial and structural relationships of mineral are the basis to be assigned to galena-sphalerite mineral association in the deposit. In the studied samples are found together with the ore minerals cerusite, pyrite, galena, sphalerite and tennantite, and the gangue minerals quartz, barite, and kaolinite. The newly determined cubanite is found in association with pyrite, chalcopyrite, tennantite, sphalerite, quartz and anatase. This Cu-Fe-sulfide is more typical for a high-temperature type of hydrothermal deposits, where occurs together with pyrrhotite. Cubanite from the deposit "Chelopech" is a rare ore mineral deposited in the main stage of hydrothermal mineral formation and belongs to the pyrite-chalcopyrite mineral association.

ЛАЗЕРНА "РАМАН" СПЕКТРОСКОПИЯ НА АНГЛЕЗИТ И КУБАНИТ ОТ НАХОДИЩЕ "ЧЕЛОПЕЧ" Димитър Петров

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. С помощта на лазерна "Раман" спектроскопия са установени неописвани към този момент минерали в находище "Челопеч", а именно англезит (PbSO₄) и кубанит (CuFe₂S₃). Основни предимства на спектроскопския метод са успешната химическа и структурна характеристика на проби с размер помалък от 1 µм в диаметър, както и бързата и специфична индентификация на минерали и руди. Стойностите на получените спектрални пикове при анализиране на минерали от изследваните скални препарати се различават с около 1-2 cm⁻¹, с тези от база данни RRUFF и по литературни данни, което е напълно допустимо, като разликата би могла да се дължи на включения от друг минерал в рамките на изследвания образец, включения от химични елементи или смущения в средата при процеса на анализиране. Англезитът е типичен Pb-съдържащ вторичен минерал. Пространствените и структурни отношения на минерала са основание той да бъде причислен към галенит-сфалеритовата минерална асоциация в находището. В изследваните образи се среща съвместно с рудните минерали церусит, пирит, галенит, сфалерит и тенантит, както и с нерудните кварц, барит, анхидрит и каолинит. Новоустановеният кубанит е в асоциация с пирит, халкопирит, тенантит, сфалерит, кварц и анатаз. Този Cu-Fe-сулфид е по-характерен за високотемпературен тип хидротермални находища, в които се среща съвместно и с пиротин. Кубанитът от находище "Челопеч" е рядък руден минерал, отложен най-вероятно в началото на основния хидротермален стадий на минералобразуване и принадлежи към пирит-халкопиритовата минерална асоциация.

Introduction

The laser "Raman" spectroscopy has been applied to minerals since its discovery in 1928th (Raman and Krishnan, 1928). It should be noted that "Raman" spectra of minerals is not strictly defined in comparison with those of gases and liquids. This means that the positions and relative intensities of the waves may differ slightly in one spectrum to other, depending on the orientation of the crystal lattice and/or the presence of impurities or defects in the crystal structure (White, 2009). "Raman" spectroscopy is a suitable method for qualitative determination of mineral species. The intensity (the height of the wave spectra) can not be used for carrying out a quantitative analyzes and determining the concentration of a chemical element in a studied sample. The positions (shift) of the wave's peaks, but not the intensity are reported usually in the literature.

The main advantages of spectroscopic methods are successful chemical and structural characteristics of a sample in sizes less than 1 µm in diameter, as well as easily and proper identification of minerals and ores. To ascertain the relative presence and qualitative determination of minerals in a studied rock samples, it is used a method of obtaining spectra in a system of spots, located over the entire surface of the sample (Haskin et al., 1997). Serious advantage of the method in the qualitative diagnostics of minerals is the speed of obtaining the result (within 1-2 minutes) and lack of preliminary preparation of the sample for analysis. It is recommended that the analysis to be conducted on fresh mineral surface. This method provides a means of obtaining spectra of very small mineral grains with different orientations, which in turn opens the possibility for new future geochemical identification of ore minerals.

Despite considerable advantages of the "Raman" spectroscopy as a method for diagnosis of ore minerals, it is relatively rarely used and the database RRUFF for comparison of the spectra is still not entirely completed. Micro-Raman spectral analyses of minerals from the gold-copper deposit "Chelopech" are not published till now and this study is the first attempt.

Materials and methods

30 polished rock sections for conducting the mineralogical studies of ore bodies of block № 149 form sector "West" in the gold-copper deposit "Chelopech" are prepared. Small-sized mineral grains are found after microscopic observation of the samples. Determination of these mineral grains by standard microscopy was difficult. 10 polished sections are selected on which is carried out a laser "Raman" spectroscopy by which are found not listed at this moment minerals in gold-copper deposit "Chelopech", namely anglesite (PbSO₄) and cubanite (CuFe₂S₃). Analyzes are carried out at room temperature in the Laboratory of fluid inclusions of the University of Leoben (Austria). Laser "Raman" micro-spectrometer Horiba Jobin-Yvon, laser with a nominal power of 100 mW and a wavelength of 514 and 532 nm are used (Fig. 1). The "Raman" device includes a microscope Olympus BX60, camera CCD CV-252, connected to a monitor for direct observation, computer system and specialized software LabSpec.



Fig. 1. Lasers "Raman" micro-spectrometer HORIBA in the Laboratory of fluid inclusions of the University of Leoben, Austria

The data acquisition was performed by 5x5 seconds exposure and added various filters (from D0,6 to D2), depending on the stability of the mineral, as spectra were recorded with a spectral resolution within 1 - 2 cm⁻¹. The method is essentially a non-destructive one, but the majority of the ore minerals burn at a long and high-intensity laser radiation. Spectra manipulation consists in a basic data treatment, such as base line adjustment and peak fitting within the figures.

One hundred ninety-four spectra of ore and gangue minerals which include pyrite, marcasite, pyrrhotite, tennantite, tetrahedrite, chalcopyrite, enargite, famatinite, sphalerite, hematite, cerusite, anglesite, cubanite, anatase, quartz, dolomite, apatite, zircon and others are obtained within the framework of the studies. The subsequent interpretation and analysis of spectral data is accomplished with the software product CrystalSleuth, which provides an opportunity to compare the obtained spectra with the database RRUFF. The database RRUFF was created in order to maintain a full range of high quality spectral data from well characterized minerals (Downs, 2006). This database is internet based and freely accessible, which facilitates its use, sharing and adding. It is a growing demand for this type of mineral database due to the increased popularity and use of the "Raman" methodology in modern geological and mineralogical practice.

Results and discussion

The anglesite (PbSO₄) is a typical Pb-containing secondary mineral. In the studied samples it occurs together with cerusite, pyrite, galena, sphalerite and tennantite, rarely with enargite, chalcopyrite, cubanite, covellite and famatinite, and gangue minerals quartz, barite, anhydrite and kaolinite (Fig. 2 a and b). The sulphate minerals such as barite, anhydrite and anglesite are formed after the main ore forming processes in the deposit and belong to the fourth stage of mineralization: quartz - carbonate – barite stage. These minerals probably are formed as a result of the interaction of cool and with nearly neutral pH magmatic fluids with the host rocks. The spatial and structural relationships of anglesite give grounds to be assigned to the galena-sphalerite mineral association in the ore deposit.

The anglesite is more frequently found in the upper levels of epithermal systems where the zone of oxidation is favourable for the forming of sulphate minerals. Under certain conditions due to the depth supergene weathering, minerals such anglesite and cerusite could be discovered within the deeper parts of the deposits containing Pb-Zn mineralization.

Pyrite forming the matrix, in which anglesite and cubanite have been detected, is observed and analyzed in detail in earlier studies (Terziev, 1968a and 1968b; Petrov et al., 2013, and etc.) in the form of two generations that differ in their structures and relationships with other minerals. The first generation often forms colloform aggregates with concentriczonal, typical "bird's eye" or "atoll"-like structures, among which is registered a cubanite (Fig. 2 c and d). The colloform aggregates are accompanied by fine semi-euhedral to xenomorphic fine grains pyrite located nearby the larger pyritemarcasite aggregates, which are representatives of pyritemarcasite association formed probably at hydrothermalsedimentary conditions before deposition of the main economic associations in the deposit. The second generation pyrite formed relatively massive aggregates, indicating areas of growth, marked by alternation of light and dark stripes. Fine size of the stripes do not allow precise determination of trace elements by microprobe analyses, but using a laser "Raman" spectrometer would prove that the differences in optical properties in stripes are due to different chemical composition. Anglesite is observed and con firmed by "Raman" spectroscopy exactly amidst a zonal pyrite of the second generation in the analysed samples from the "Chelopech" deposit.



Fig. 2. Microphotos of ore minerals in polished sections from the Western sector of the gold-copper deposit "Chelopech" shot on the microscope with reflected light which is a part of the Raman device.

- a. anglesite among pyrite matrix;
- b. mineral grain of anglesite among pyrite and gangue minerals (black);
- c. grain of cubanite among the "atoll"-like pyrite;
- d. mineral aggregate of cubanite in contact with chalcopyrite in matrix of pyrite and gangue minerals.
- Legend: Ang anglesite; Cpy chalcopyrite; Cub cubanite; Py pyrite. With a circle is marked the location of laser radiation.

It should be noted that the volume of the studied polished samples and the number of registered mineral grains anglesite and cubanite is too small to be able credibly attach these minerals to the typical spatial distribution of mineral associations within the ore bodies of the deposit.

It is presented on Figure 3 the obtained spectrum of anglesite from the "Chelopech" deposit compared with those of database RRUFF (№ R050408, natural anglesite from the "Tsumeb" deposit, Namibia) and after Griffith (1970). The positions of the main waves in the spectrum of the mineral are marked by numbers. Typical peaks in the "Raman" spectral waves of anglesite from the "Chelopech" deposit and published data are presented in Table 1, as in Figure 3 are included only the spectra obtained at 514nm wavelength.

On the presented figures, it is clear that the characteristic peaks are marked at 78, 93, 138, 153, 184, 438, 449, 605, 643, 975, 1056 and 1157cm⁻¹. Some values of these peaks

vary by about 1–2 cm⁻¹ in the spectra of anglesite according to the published data, which is perfectly acceptable and they are within the sensitivity of the spectroscope. It follows that the micro-spectral analysis is trustworthy, but it is advisable that the presence of the mineral to be confirmed by other types of analyzes. A confirmation with other types of analysis (e.g. microprobe analysis) should be obtained for the cubanite as well.

In case if there are vast differences in the shift of the spectrum, or the presence of additional, well-defined peaks, it could be due to inclusions of other minerals within the studied sample, inclusions of trace elements and/or interference in the environment during the process of analyzing. In certain cases and in a more precise analysis, except the type of mineral it could be inferred and the nature of the inclusions of other chemical elements in the structure of the studied sample.



Fig. 3. "Raman" spectra of anglesite (PbSO₄) at 514 nm wavelength (A: anglesite after Griffit, 1970; B: anglesite by database RRUFF № R050408, "Tsumeb" deposit, Namibia; C: anglesite - analysis № 15-6-10, "Chelopech" deposit, Bulgaria)

Table 1.

"Raman" spectral waves	s peaks of anglesite (cm-1)		
An. №15-6-10 "Chelopech" deposit	RRUFF database №R050408 "Tsumeb" deposit	after Buzgar, 2009 "Monte Poni" deposit	after Griffith, 1970	after Beny, 1991
78				
93	95			96
138	136			133
153			152	
184	184		184	181
438	439		438	438
449	450	450	449	449
605	606	553	604	605
		611	617	617
643	643	646	641	643
975	978	978	977	977
1056		1058	1058	1052
				1140
1157	1158	1157	1155	1156



Raman shift (cm⁻¹)

Fig. 4. "Raman" spectra of cubanite (CuFe₂S₃) at 532 nm wavelength (A: cubanite by database RRUFF № R061068, "Hendersen-2" deposit, Canada; B: cubanite - analysis № 15-6-11, "Chelopech" deposit, Bulgaria; C: cubanite - analysis № 26-4-02, "Chelopech" deposit, Bulgaria)

Table 2.

	"Raman" :	spectral	waves	peaks of	cubanite	(cm-1
--	-----------	----------	-------	----------	----------	-------

An. №26-4-02 "Chelopech" deposit	RRUFF database №R061068 "Henderson-2" deposit	Synthetic cubanite (after Chandra et. al., 2001)
	126	
287	285	286
	332	328
337		
375	373	374
427		
471	469	469
	An. №26-4-02 "Chelopech" deposit 287 337 375 427 471	An. №26-4-02 RRUFF database "Chelopech" deposit №R061068 287 126 287 285 332 332 337 373 427 469

The newly identified in the deposit "Chelopech" cubanite $(CuFe_2S_3)$ is in an association with pyrite, chalcopyrite, tennantite, sphalerite, quartz and anatase. This Cu-Fe-sulfide is typical for high-temperature type of hydrothermal deposits,

where occurs together with pyrrhotite, pentlandite, pyrite and sphalerite. The most often it is found as intergrowths with chalcopyrite and pyrite.

The cubanite from the "Chelopech" deposit is a rare ore mineral, deposited probably at the beginning of the main hydrothermal ore-forming stage and it belongs to the pyritechalcopyrite mineral association. According to the published data cubanite from the "Hendersen-2" deposit, Canada (database RRUFF № R061068), the positions of the "Raman" spectra's peaks are indicated at 126, 285, 332, 373 and 469 cm-1 (Fig. 4). The micro-Raman spectroscopy studies on synthetic cubanite showed strong wave modes at 286, 374 and 469 cm⁻¹ and weak at 328 cm⁻¹ (Table 2). It is assumed that the peaks at 286, 332 374 cm⁻¹ mark the group of Fe-S, and that at 469 cm⁻¹ of the Cu-S in the wavelength range of natural cubanite at room temperature (Chandra et. al., 2001). The studied mineral grains of cubanite are within the range of 2-3 µm, often sprout with chalcopyrite in pyrite matrix. Namely microscopic inclusions of chalcopyrite and pyrite in the analysis of cubanite from the "Chelopech" deposit are due to relatively well expressed wave's peaks at 342 and 426 cm⁻¹ in analysis № 15-6-11, and at 337 and 427 cm⁻¹ in analysis № 26-4-02. On the presented Figure 4 and Table 2 it is shown a strong similarity between the two wave regimes in the spectrum of studied cubanite, although both analyses were performed on samples from different ore bodies within one and the same ore block.

Conclusions

The laser "Raman" spectroscopy as quick and generally non-destructive method which provides an easy opportunity for a qualitative characteristic not only of liquids, gases and homogeneous solid materials, but also to the zonal, heterogeneous and impure ore and gangue minerals.

In addition to those listed so far advantages of this method we can add the ability to compare and clarify the ore-forming and geochemical relation of the same mineral in different ore environment.

Together with the microscopy, X-ray and geochemical assays the laser "Raman" spectroscopy it is a modern powerful diagnostic tool for mineral identification in ore deposits studied.

Acknowledgements. The author would like to thank the chief geologist of "Chelopech Mining" EAD eng. Plamen Doychev for kindly providing materials and assistance in the preparation of this work. Special thanks to the Head of the Department of Mineral Resources at the University of Leoben Prof. Dr. Frank Melcher, and the Head of the Laboratory of fluid inclusions Prof. Dr. Ronald Baker for comprehensive assistance during the research, related to this work.

The studies were conducted during the training of the author at the University of Leoben (Austria) on the project BG051PO001-3.3.05-0001 "Science and Business", with the financial support of Operational Programme "Human Resources Development", co-financed by the European Social Fund of the European Union.

References

- Terziev, G. 1968a. Mineral composition and genesis of ore deposit Chelopech. – Ann. of Geological. Inst., Bulgarian Academy of Sciences, 17, 123-187 (in Bulgarian).
- Terziev, G. 1968b. Avilable colloform pyrite aggregates of the crystallization type. *BGS*, 29, 2, 179-188 (in Russian).
- Beny, C. 1991. Database of Raman spectra. Anglesite. (http://wwwobs.univ-bpclermont.fr/sfmc/ramandb2/html /ANGLE11.html) (in French).
- Buzgar, N., A. Buzatu, I.V. Sanislav. 2009. The Raman study on certain sulfates. - Anal. Univ. "Al. I. Cuza", Iaşi, Geologie LV, 5-23.
- Chandra, U., N. Singh, P. Sharma, G. Parthasarathy. 2001. High Pressure Studies on Synthetic Orthorhombic Cubanite (CuFe 2 S 3) - *AIP Conference Proceedings* 1349, 143.
- Downs, R. T. 2006. The RRUFF Project: an integrated study of the chemistry, crystallography, Raman and infrared spectroscopy of minerals. - *In: Proceedings of the 19th* general meeting of the IMA, Kobe, Japan. 003-13.
- Griffith, W.P. 1970. Raman studies on rock-forming minerals. II. Minerals containing MO3, MO4 and MO6 groups. - J. Chem. Soc. A (2), 286-291.
- Haskin, L.A., et al. 1997. Raman spectroscopy for mineral identification and quantification for in situ planetary surface analysis: a point count method. - *J. Geophys. Res.* 102 (E8), 19, 293–306.
- Petrov, D., S. Strashimirov, S. Stoykov, M. Karakusheva. 2013. 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, 39-46.
- Raman, C.V., K.S. Krishnan. 1928. A new type of secondary radiation. *Nature, 121, 501–502.*
- White, S. 2009. Laser Raman spectroscopy as a technique for identification of seafloor hydrothermal and cold seep minerals - *Chem. Geol.*, 259 (3-4), 240–252.

The article is reviewed by Prof. Dr. Strashimir Strashimirov and recommended for publication by the Department "Geology and Exploration of Mineral Resources".

ЕЛЕКТРОТОМОГРАФСКО КАРТИРАНЕ НА ЗЕМНАТА ОСНОВА НА АЛТЕРНАТИВНИ ПЛОЩАДКИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА НОВА ЕНЕРГИЙНА МОЩНОСТ В АЕЦ КОЗЛОДУЙ

Стефан Димовски, Николай Стоянов, Стефчо Стойнев, Миглена Янкова

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg, stoynev@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Високата ефективност на електротомографския метод при картирането на приповърхностния разрез се обуслява от добрата диференциация на средата по специфично електрично съпротивление. Варирането на тази характеристика се свързва с различия в литоложкия състав, порестостта, водонаситеността и състава на пластовата вода в изследваните части от подповърхностното пространство. Прилагането на метода в съчетание със сондажно ядково проучване е много полезен инструмент за пространствено очертаване на геоложки, тектонски, инженерногеоложки или хидрогеоложки граници. Този подход е използван за детайлизиране на границите на инженерногеоложките и хидрогеоложките единици, съставящи земната основа на четири алтернативни площадки за изграждане на нова енергийна мощност в района на АЕЦ Козлодуй. Представените резултати демонстрират възможностите за създаване на по-подробни модели на подповърхностното пространство при комплексно използване на електротомографския метод с другите конвенционални методи на проучване.

APPLICATION OF ELECTRICAL TOMOGRAPHY FOR MAPPING THE NEAR SURFACE SECTION OF SEVERAL ALTERNATIVE SITES FOR CONSTRUCTION OF A NEW ENERGY FACILITY AT THE KOZLODUY NPP Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov, Stefcho Stoynev, Miglena Yankova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg, stoynev@mail.bg

ABSTRACT. The high efficiency of electrical tomography method for mapping of near-surface section is based on the good differentiation of the environment in respect to its specific electrical resistivity. The variation of this physical characteristic is associated with differences in lithological composition, porosity, watersaturation, and composition of groundwater in the studied parts of the sub-surface area. The application of this method in combination with exploration core drilling is a very useful tool for spatial mapping of geological, tectonic, engineering geological or hydrogeological boundaries. This approach is used in order to obtain a detailed picture of the engineering geological and hydrogeological units constituting the near-surface section of four alternative sites for construction of new energy facility in the region of Kozloduy NPP. The presented results demonstrate the possibility to create more detailed models of sub-surface area by the combined application of electrical tomography and other conventional methods of study.

Въведение

В последните 10-15 години геоелектричното 2D проучване (електротомографията) се утвърди като много полезен инструмент за картиране на приповърхностния геоложки разрез. Приложимостта на метода се обуславя от добрата диференциация на изследваната среда по специфично електрично съпротивление. Варирането на неговите стойности се свързва с различия в литоложкия състав, зърнометрията, порестостта, напукаността, окарстяването, водонаситеността, химичния състав на твърдата и течната фаза и много други характеристики на подповърхностното пространство.

Досегашните ни изследвания и натрупаният практически опит илюстрират предимствата на електротомографските методи за определяне на геометрията и пространствените граници на геоложки, инженерногеоложки или хидрогеоложки единици, тектонски нарушения, окарстени или напукани зони; зони с различна водонаситеност и водообилност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачищни участъци и др. (Стоянов, 2004; Стоянов и др. 2004; Димовски и др., 2007; Димовски, 2010; Димовски и Стоянов, 2010, 2011 и много други).

Изпълненото от нашия екип геоелектричното 2D проучване в района на АЕЦ "Козлодуй" демонстрира ефективността на съвместното прилагане на електротомографията и проучвателното сондиране за картиране на приповърхностния геоложки разрез и за детайлизиране на границите на основните инженерно-геоложки единици. Проучването допълва едно мащабно изследване, включващо сондажни проучвания, инженерногеоложки и хидрогеоложки изследвания, хидрогеоекологични оценки и математически моделни изследвания на четири алтерна-тивни площадки за изграждане на нова енергийна мощност в района на атомната централа (Стойнев и др. 2013).

Обща информация за изследвания обект

Обект на изследване е геоложкката основа на четири проучвателни площадки, разположени в южната периферия на Козлодуйската низина, в охраняваната зона на АЕЦ "Козлодуй" – вж фиг. 1. и фиг. 2. Релефът е равнинен до слабо хълмист с надморска височина от 25 до 50-60 m и повече (фиг. 1). Ниските коти са характерни за североизточната половина на района, където са развити заливната и първата надзаливна тераса на р. Дунав. На юг-югозапад теренът се издига стъпаловидно, следвайки морфологията на льосовите тераси. Характерни за района са и льосовите гредове, развити в заливната тераса и разположени успоредно на р. Дунав. Ориентацията на дюните по оста на издължената и издигната част следва северозападно-югоизточно направление.

Площадка 1 попада изцяло в съвременната (холоценска) заливна тераса на р. Дунав. Площадка 2 е ситуирана върху две морфоложки единици – заливната тераса на р. Дунав и издигната льосова гредова форма. Другите две площадки (площадка 2 и 4) са разположени в границите на първата льосова надзаливна тераса, където е изградена и АЕЦ "Козлодуй" (фиг. 1).



Фиг.1. Геоморфоложки особености в района на АЕЦ "Козлодуй"



Фиг.2. Местоположение на проучваните площадки с разположението на геофизичните профили и проучвателните сондажи

Геоложкият строеж в района е изграден от кватернерни и неогенски отложения. Съгласно стратиграфското райониране на територията на Република България в М 1:100000, в обхвата на площадките са застъпени следните литостратиграфски единици:

 Алувиални образувания (alQh) – руслови и на заливните тераси. Представени са от чакъли, пясъци, глини и преотложен льос (льосовиден глинест пясък в т.нар. льосова гредова форма). Тези наслаги, изграждащи вложения алувиален терасовиден комплекс, обхващат изцяло площадки 1 и 3. Дебелината на холоценските отложения варира от 7-12 m (площадка 1) до 20-24 m (площадка 3).

- Еолични образувания песъчлив и глинест льос (eolQp²⁻³). Застъпени са по първата льосова надзаливна дунавска тераса. В нейния обхват се разполага атомната централа, както и площадки 2 и 4. Дебелината на еоличните образувания е средно около 8-9 m.
- Еолично-алувиални льосовидни глини и пясъци (eolalQp¹⁻²). Залягат под песъчливия и глинест льос в обхвата на льосовата тераса. Дебелината им е 3-6 m.
- Алувиален песъчливо-чакълест комплекс (eol-alQp¹).
 Изгражда основния слой на алувия на речното легло в

погребаната от льосовите наслаги тераса. Застъпени са по-едри разнозърнести пясъци и дребни чакъли. Дебелината им варира от 1-2 m до 4-5 m.

 Брусарска свита (br N₂). Изградена е от глини и пясъци. Дебелината й надхвърля 50 m. Горнището на свитата в обхвата на заливната речна тераса се установява на дълбочини от 7-12 m до 20-24 m от земната повърхност, а на територията на льосовата тераса на 12-20 m от терена.

Под Брусарската свита стратиграфски конкордантно залягат отложенията на Арчарската свита. Те имат сходен произход и състав с тези на Брусарската свита, като в тях преобладават пясъците и глинестите пясъци.

Инженерногеоложки единици

Въз основа на комплексен анализ на резултатите от проведеното сондажно проучване и изпълнените полеви и лабораторни изследвания в геоложката основа на четирите площадки са детерминирани следните инженерногеоложки единици (Стойнев и др. 2013):

А. Съвременни (холоценски) слабо уплътнени до неуплътнени наслаги, изграждащи заливната тераса на р. Дунав

- <u>Льосовидни глинести пясъци (eol-alQh)</u> Срещат се единствено в геоложката основа на площадка 3, където изграждат льосовия гред. Дебелината им достига 10-12 m и повече.
- II. <u>Алувиални прахови и песъчливи глини (alQh)</u> Установени са в приповърхностната част на разреза на площадки 1 и 3. В горната си част до дълбочина 1,0-1,5 m прахово-песъчливите глини са тъмнокафяви и сивочерни, с органични примеси (блатни глини). Под този слой глините са песъчливи, ръждивокафяви със сиви петна до зеленикави, а дебелината им е в границите от 2,5 до 4,0 m.
- III. Алувиални глинести до дребни пясъци (alQh) Присъстват ограничено в геоложката основа на площадки 1 и 3. Описват се като глинести пясъци, в наслоения до пясък, рахли до средно сбити, слабо до нелитифицирани, водоносни. Дебелината им варира в диапазона 1,0-2,5 m.

Б. Плейстоценски пропадъчни еолични образувания на първа льосова тераса

IV. <u>Песъчлив и глинест льос (eolQp²⁻³)</u> Изгражда горните части на геоложкия разрез на площадки 2 и 4. Песъчливият льос е сух до слабо овлажнен, а глинестият льос е влажен, в дълбочина и водонаситен. Общата им дебелина е около 8-9 m.

В. Плейстоценски непропадъчни льосовидни образувания на първа льосова тераса

V. <u>Льосовидни глини и прахови пясъци (eol-alQp¹⁻²)</u> Установяват се практически повсеместно в разреза на площадки 2 и 4 под инженерногеоложка единица IV. Отделят се няколко разновидности: (а) льосовидна песъчлива глина; (б) льосовидна песъчлива глина с гнезда от заглинени пясъци с чакъл; (в) прахови глинести пясъци, водоносни; (г) дребни до средни пясъци, заглинени, рядко с наслоения от глинест пясък, водоносни. В разреза тези разновидности се срещат като пластове и прослойки с дебелината от 0,5 до 3,5 m.

Г. Холоценски и плейстоценски алувиални пясъчни наслаги

VI. Алувиални чакълести пясъци с глинест запълнител (eol-alQh-p¹⁻²)

Разкриват се в геоложкия разрез на всички площадки. В състава си включват също четири разновидности: (а) чакълести пясъци, разнозърнести, в различна степен заглинени, водоносни; (б) чакълести глинести пясъци, водонаситени; (в) средни до едри пясъци, разнозърнести, водоносни; (г) глинести пясъци до песъчливи глини, водонаситени. Доминиращо присъствие има първата разновидност (чакълестите пясъци), а другите се срещат под формата на прослойки. Общата дебелина на инженерногеоложка единица V е в диапазона от 3,0 до 11,0 m.

Д. Плиоценски глинесто-песъчлив комплекс

- VII. <u>Прахови и песъчливи глини от Брусарската свита</u> (<u>brN2</u>) Установяват се в основата на геоложкия разрез на всяка от четирите площадки. Представени са от три основни разновидности: (а) прахови глини, жълтокафяви; (б) прахови глини, сивозеленикави с жълтокафяви ивици и петна; (в) прахово-песъчливи глини. Срещат се като относително издържани пластове с дебелина от 0,5 до 9,0 m и повече.
- VIII. Пясъци и дребен чакъл от Брусарската свита (brN2) Присъстват в долната част на геоложкия разрез на всички площадки. Изградени са от водоносни дребни пясъци и глинести пясъци, прослоени с неиздържани прослойки и лещи от среден и едър пясък с чакъли.

Методика и инструменти на изследване

Използваният метод е подходящ за двумерно картиране на приповърхностния геоложки разрез във вертикални разрези по профили. Теренните измервания се изпълнявят посредством свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths and Barker, 1993). Използва се 4-електродна схема Schlumberger. Регистрацията се извършва с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000 В, производство на фирма ABEM. Тя работи с изходно напрежение 150 V и максимален изходен ток 1000 mA.

Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 5 m (общо 24 електрода на разстановка). След измерване на всяка разстановка, се извършва стъпковото преместване ("приплъзване") на кабела със стъпка 120 m.

При обработката на полевите данни се използва компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава разрез на реалното разпределение на електричните съпротивления в подповърхностното пространство. Детерминираният по този начин геоелектричен модел се трансформира в геоложки или инженерногеоложки модел въз основа на:

- обща информация за геоложките, тектонските, инженерногеоложките и хидрогеоложките условия;
- литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Keller and Frischknecht, 1966; Daniels and Alberty, 1966 и др.);
- данни за преминатите с проучвателните сондажи геоложки и инженерногеоложки единици, както и за регистрираните нива на подземните води.

Обем на теренните измервания

Елекротомографското проучване обхваща геоложката основа на четирите проучвателни площадки до дълбочина 40-45 m. Теренните измервания са изпълнени по осем геофизични профила (по два профила на всяка площадка) с обща дължина 4020 m. Дължината на профилите по площадки са както следва: площадка 1 – ГФ профил 1-1 (950 m) и ГФ профил 1-2 (350 m); площадка 2 – ГФ профил 2-1 (670 m) и ГФ профил 2-2 (670 m); площадка 3 – ГФ профил 3-1 (470 m) и ГФ профил 3-2 (470 m); площадка 4 – ГФ профил 4-1 (250 m) и ГФ профил 4-2 (210 m). Точното местоположение на геофизичните профили и на разположените в непосредствена близост до тях проучвателни сондажи е представено на фиг. 2.

Геоелектрични разрези. Инженерногеоложка интерпретация

Детерминираното с програма RES2DINV разпределение на действителните съпротивления в разрезите по осемте геофизични профила, са представени на фигури от 3 до 10. На геоелектричните разрези са нанесени в съответния мащаб проучвателните сондажи и преминатите от тях инженерногеоложки единици. Това позволява да се идентифицира най-вероятното разположение на контактите между геоелектрични среди, характеризиращи пластове и зони с различни литоложки характеристики, зърнометрия и степен на водонасищане.

Границите на инженерногеоложките единици, очертани на представените разрези по осемте профила, са детерминирани въз основа на комплексен сравнителен анализ на: (1) разпределението на действителните електрични съпротивления в геоелектричните модели; (2) специфичните електрични съпротивления на преминатите със сондажите литоложки разновидности; (3) литоложките характеристики и водонаситеността на дефинираните погоре инженерногеоложки единици; (4) по-общи представи за геолого-тектонския строеж на района.

Използването на геоелектричното картиране позволи да се получи информация за геометрията и пространственото залягане на инженерногеоложките единици практически по цялата площ на площадките. Това е особено важно за терени с пространствена литоложка нееднородност на пластовете, което е типично за генетичните типове разновидности, изграждащи геоложкия профил на четирите площадки.



Фиг. 3. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 1-1. Граници на инженерногеоложките единици



Фиг. 4. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 1-2. Граници на инженерногеоложките единици



Unit Electrode Spacing = 5.00 m.





Фиг. 6. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 2-2. Граници на инженерногеоложките единици



Фиг. 7. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 3-1. Граници на инженерногеоложките единици



Фиг. 8. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 3-2. Граници на инженерногеоложките единици







Фиг. 10. Геоелектричен разрез по ГФ Профил 4-2. Граници на инженерногеоложките единици

Литература

- Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. 2007. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 47-55.
- Димовски, С. 2010. Електротомографски изследвания на геоложката среда. Дисерт., С., МГУ "Св. Иван Рилски", 387 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. 2010. 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, 4 с.
- Димовски, С., Н. Стоянов. 2011. Геоелектричен подход при изучаване на *хидрогеоложките* условия в района на ДБО Асеновград. Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.54, св. *I*, Геол. геоф., 125-130.
- Стойнев, Ст.Б. и др. 2013. Изследване и определяне местоположението на нова ядрена мощност на площадката на "АЕЦ Козлодуй" ЕАД, Доклад на "МГУ Инженеринг".

- Стоянов, Н. 2004. Метод за дефиниране на локални геоелектрични критерии за оценка на замърсяването на подземните води. – BULAQUA (БУЛАКВА), 4.
- Стоянов, Н., Ст. Стойнев, Ч. Гюров. 2004. Детайлизиране на инженерногеоложките и хидрогеоложките условия посредством геоелектрични модели – *Сп. "Геол. и минер. рес."*, 10, 8-12.
- Daniels, F., R. A. Alberty. 1966. *Physical chemistry*. John Wiley and Sons, Inc.
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Keller, G.V., F.C. Frischknecht. 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford.
- Loke, M. H. 2001. A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the leastsquares method. Geoelectrical Imaging 2-D & 3D. Geotomo Software. Penang, Malaysia.

Статията е рецензирана от проф. д-р Ради Радичев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

КОМПЛЕКСЕН ГЕОФИЗИЧЕН ПОДХОД ЗА ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА ВОДОПРОПУСКЛИВИ ЗОНИ В ЗЕМНОНАСИПНА СТЕНА НА ПОВЪРХНОСТЕН ВОДОЕМ

Стефан Димовски, Николай Стоянов, Християн Цанков, Атанас Кисьов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, dimovski@mgu.bg, nts@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Наличието на разуплътнени и водопропускливи зони в стените на повърхностните водоеми нарушава тяхното нормално функциониране, а би могло да доведе и до компрометиране (разрушаване) на тези съоръжения. Предложеният комплексен геофизичен подход за локализиране на проблемните участъци включва прилагането на два геоелектрични метода - георадар и електротомография. Възможностите за картиране на водопропускливи зони и ефективността от прилагането на подхода е илюстрирана с резултатите от проведеното георадарно и електротомографско проучване на земнонасипната стена на изравнителен водоем "Кричим". Представените резултати потвърждават приложимостта на използваната методика на измерване, анализ и интерпретация на данните.

AN INTEGRATED GEOPHYSICAL APPROACH FOR LOCATING WATER-PERMEABLE ZONES IN THE EMBANKMENT WALL OF A SURFACE WATER BODY

Stefan Dimovski, Nikolay Stoyanov, Hristian Tsankov, Atanas Kisyov

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

ABSTRACT. The presence of non-compacted and water-permeable zones in the walls of surface water bodies violates their normal functioning and could lead to a compromising (destruction) of these facilities. The proposed integrated geophysical approach for locating the problematic areas include the application of two geoelectrical methods – GPR and resistivity tomography. The possibilities for mapping of water-permeable zones and the efficiency of the proposed approach implementation is illustrated by the results of the performed GPR and electrical tomography surveying of the embankment wall of the equalizing dam "Krichim". The presented results confirm the applicability of the employed methodology for measurement, analysis and interpretation of data.

Въведение

Важен въпрос, свързан с безопасната експлоатация на изкуствените повърхностни водоеми (язовирите), е организирането и провеждането на системни наблюдения с цел установяване на течове през язовирните стени (бентове). Възникването и развитието на подобни процеси е вследствие формиране на напукани, разуплътнени и водопропускливи зони в стените на водоемите, които нарушават нормалното им функциониране, а е възможно да доведат и до разрушаване на тези съоръжения. Ето защо, след регистриране на течове, силно овлажнени или видимо нарушени участъци в сухия откос на язовирните стени, е необходимо в кратък срок да се направи проучване за локализиране и количествена оценка на зони с повишена водопропускливост. Проучването трябва да засегне и генезиса на разуплътнените зони, с което ще помогне за по-ефективното и трайно решаване на проблема с техническата изправност на съоръжението.

Най-общо първият етап на проучването включва преглед на наличната документация за изграждане и/или реконструкция на стената, за експлоатацията на водоема, в това число данните от мониторинга, и детайлен оглед на проблемните участъци. Вторият етап включва специализирани изследвания за установяване и определяне на размерите и пространствените граници на разуплътнените

зони. Тази задача може да се изпълни посредством различни косвени и/или преки методи и техники за изследване. В групата на косвените попадат геофизичните методи, които имат предимствата: бързина на изследването, не нарушават целостта на стената, подробно картиране на пространствените граници, ниски финансови разходи. Към групата на преките методи се отнасят сондажните проучвания, полевите филтрационни тестове, лабораторните изпитвания на взети от стената проби и др. Главното предимство на тази група методи е, че дават възможност за количествена оценка на степента на разуплътненост и водопропускливост в изследваните участъци. Косвените методи са много ефективни и могат да се използват като единствено средство за изследване на проблемни бентове, особено за по-малки водоеми. При големи и с много важно значение технически съоръжения, обаче, наред с косвените методи е наложително да се прилагат и преки методи за оценка.

За картиране на разуплътнени и водопропускливи зони в язовирните стени с успех могат да се използват различни геофизични методи – вертикално електричестко сондиране (BEC), електротомографско 2D проучване (електротомография), георадарно проучване, сеизмично профилиране и др. Предложеният от нашия екип комплексен подход включва прилагане на два метода – електротомография и георадар. Неговите възможности за картиране на разуплътнени и водопропускливи зони са илюстрирани с резултатите от проведеното проучване на земнонасипната стена на изравнителен водоем "Кричим".

Кратка информация за изследвания обект. Описание на проблема

Обект на изследване е част от земнонасипната стена (дигата) на изравнителен водоем "Кричим" (фиг. 1). Поконкретно, измерванията in situ са изпълнени в участъка на новоизградените водовземна шахта и тръбопровод за МВЕЦ "Лозята-1" по проект на "Стройексперт инженеринг" ЕООД. При изпълнението на този проект, североизточната част от стената в участък с дължина около 35-40 m е разрушена. След изграждане на водовземната шахта и напорния водопровод стената е възстановена. Впоследствие, при напълване на водоема до проектното ниво, са възникнали течове в петата на сухия откос в новия (възстановения) участък на стената.

Изследването за локализиране на неуплътнени и водопропускливи зони в обхвата на възстановения участък на стената на водоема и под нейната основа е изпълнено при съвместно прилагане електротомография и георадар.

Измерванията по всеки от използваните методи са изпълнени по 2 профила с обща дължина 200 m. Точното разположение на профилите е представено на фиг. 2.



Фиг. 1. Местоположение на изследвания обект

Методи и техника на изследването

За локализиране на водопропускливи зони в новоизградения участък на стената на изравнител "Кричим" са използвани два геофизични метода:

- Електротомографско 2D проучване;
- Георадарно проучване.

Съвместното прилагане на двата метода дава по-голяма увереност при анализа и интерпретацията на резултатите от геофизичното проучване.

Електротомографско 2D проучване. Методът се прилага

за картиране на приповърхностния разрез във вертикални разрези по профили. Измерванията се изпълняват чрез свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths et al., 1990) по 4-електродна схема Schlumberger и апаратура Terrameter SAS 1000 В. Използват се две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 3,5 m. За обработка на полевите данни се използва компютърната програма RES2DINV (Loke, 2001). Програмата дава двумерното (в разрез) разпределение на действителните електрични съпротивления. Полученият геоелектричен модел се трансформира в хидрогеоложки модел на изследваната техногенна среда (стената) и нейната земна основа въз основа на:

- обща информация за геоложките, хидрогеоложките и техногенните условия в изследвания район;
- литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Keller and Frischknecht, 1966; Daniels and Alberty, 1966 и др.);
- информация за строежа на геоложката основа, нивото на подземните води и нивото във водоема;
- данни за конструктивните параметри на стената и преминаващите през нея съоръжения.

Георадарно проучване. Приложимостта на георадара в практиката се обуславя от наличието на контраст в диелектричните свойства на проучваната среда и/или търсените обекти. Методът се състои в излъчване на електромагнитни вълни в изследваната среда, приемане на отразените от елементите на средата вълни и анализ на получените данни. Полученото, в резултат на проведените измервания и допълнителна обработка, изображение дава представа за размерите и пространственото разпределение на скритите обекти и/или структури.

Георадарът се състои от командно устройство, антена (предавател и приемник) и захранване. В командното устройство се генерира правоъгълен импулс, който се подава към антената предавател. В нея всеки правоъгълен импулс се трансформира във високочестотен биполярен импулс и се излъчва към изследваната част от подповърхностното пространство. Проникващият импулс контактува с обекти с различни специфична електропроводимост и диелектрична константа. На границата между две среди с различни електрични параметри част от сигнала се отразява (отразена вълна), а останалата част преминава във втората среда. Отразените сигнали достигат до приемната антена и се изпращат в командното устройство, което записва двойния път на времето на разпространение на отразените вълни. Георадарното изображение (радарграмата) се наблюдава в реално време на дисплей. След прехвърлянето на данните в мощен компютър, полевите данни подлежат на допълнителна обработка със специализиран софтуер.

При измерванията се ползват георадар модел SIR-3000 на Geophysical Survey Systems Inc., USA, средночестотна антена GSSI модел 5104A с дълбочина на проникване 6 m и нискочестотна антена модел SUBECHO-150 с дълбочина на проникване до 25 m. Апаратурата е предназначена за решаване на инженерно-геоложки, геотехнически, хидрогеоложки и археоложки задачи. Данните от полевите измервания се обработват с програмата ReflexW.

Обем на теренните измервания

Електротомографски измервания. Проведените електротомографски измервания са изпълнени по два геофизични профила с обща дължина 203 m – вж. фиг. 2. Първият електротомографски профил (ЕТП 1) преминава по короната на стената и е с дължина по 122.5 m. Вторият електротомографски профил (ЕТП 2) в по-голямата си част се разполага по бермата в сухия откос на стената. Неговата дължина е 80,5 m. Теренните измервания са направени по 4-електродна схема Schlumberger с помощта на две коси от 12 жилен кабел и разстояние между електродите е 3,5 m.

Георадарни измервания. Георадарните измервания са проведени по два основни профила с обща дължина 209,4 m, които в основната си част припокриват електротомографските профили (фиг. 2). Първият георадарен профил (ГРП-1) е разположен по короната на стената, а вторият (ГРП-2) на бермата над шосето за гр. Кричим. Всички профили се намират в североизточния край на участъка от стената в непосредствена близост до новоизградените водовземна шахта и напорен тръбопровод (фиг. 2). За гарантиране качеството на събраните георадарни данни, профилите са повторени няколкократно с минимален отстъп един от друг. По време на измерването са използвани два вида антени с различна разделителна способност и дълбочина на проникване представени погоре. Придвижването по профилите е осъществено с количка за пресечен терен модел 643, снабдена с електронноизмервателно колело, към която се прикрепват георадарът и измервателната антена. Данните от георадарните изследвания са натрупани в 16 bit *.dzt (RADAN) формат и прехвърлени на работна станция за постпроцесинг.

Обработка на данните от теренните измервания. Резултати

Обработка и резултати от електротомографията. Данните от полевите електротомографски измервания са интерпретирани с компютърна програма RES2DINV и е детерминирано разпределението на действителните съпротивления в подповърхностното пространство. Получените по двата профила геоелектрични разрези (ЕТП-1 и ЕТП-2) са илюстрирани на фиг. 3 и фиг. 4. Анализът на съставените геоелектрични разрези позволява да се направят следните по-важни изводи:

- Геоелектричният разрез по двата профила е добре издържан по разпределението на електричното съпротивление в дълбочина.
- Електричното съпротивление на разновидностите (средите), които изграждат изследвания разрез свидетелства за присъствие на подчертано изразена йонна проводимост. Стойностите на електричното съпротивление са ниски и варират в относително тесни граници – от 4 Ωm до около 50 Ωm и повече.
- Най-обобщено изследваният геоелектричен разрез се представя от няколко електросъпротивителни среди, маркиращи зони с различен състав, степен на водонаситеност и водопропускливост.



Фиг. 2. Местоположение на геофизичните профили



Фиг. 3. Разпределение на електричното съпротивление по ЕТП 1 (ситуационният план е представен на фиг. 2)



Фиг. 4. Разпределение на електричното съпротивление по ЕТП 2 (ситуационният план е представен на фиг. 2)



100 Avrteva wogen §104A

(б) по данни от измерванията с георадарна антена модел 5104А

Фиг. 5. Радарграми по ГРП 1 (ситуационният план е представен на фиг. 2)



Фиг. 6. Радарграма по ГРП 2 (ситуационният план е представен на фиг. 2)

- Първата електросъпротивителна среда има найниски стойности на електричното съпротивление найчесто в границите от 4 Ωm до 8 Ωm. Тази среда вероятно картира най-водопропускливите части от подповърхностното пространство или зони, в които финнодисперсните и глинестите фракции имат доминиращо присъствие. В обхвата й естествено попадат и елекропроводящите стоманени тръби на напорния водопровод;
- Втората електросъпротивителна среда очертава зони с електрично съпротивление в обхват от 8 Ωm до 15 Ωm. Тези зони най-вероятно са водонаситени, поводопропускливи или са изградени от дребнозърнести и финодисперсни материали;
- Третата електросъпротивителна среда притежава най-високи стойности на електричното съпротивление

 над 15-20 Ωm. Тази среда вероятно картира сухи, слабо водонаситени или много слабо водопропускливи части от стената или зони и пластове от геоложката основа, в които преобладават по-едри фракции (пясъци и чакъли).
- Изразените градиентни преходи маркират границата между ненаситената и водонаситената зона (водното ниво) в стената и нивото на подземните води.

Обработка и резултати от георадара. Теренните георадарни данни са набрани в RADAN формат (*.dzt), след което са обработени в ReflexW. Стандартно са извършени следните процедури: (00) преориентиране на всички георадарни профили в една посока (запад-изток); (01) премахване на изкуствените пикове на амплитудите на отделните трасета; (02) коригиране на несиметричността на сигнала; (03) фиксиране нивото на земната повърхност в данните по времената на встъпление; (04) добавяне на стандартен ниско/високочестотен филтър, съгласуван с централната честота на използваните антени; (05) премахване на автоматичното усилване на сигнала; (06) ръчно въвеждане на усилване на сигнала; (07) премахване на линейния фон от радарграмите; (08) нормиране силата на сигнала на отделните радарграми; (09) ръчно конструиране и прилагане на времево-пространствени филтри за допълнително изчистване на шума от данните; (10) коригиране на енергийните нива на сигнала. При отделни радарграми е извършена допълнителна обработка за постигане максимална чистота на сигнала, надеждност на интерпретацията и съвместимост между отделните профили.

За правилна интерпретация на георадарните данни е необходимо да се определи скоростта на преминаване на електромагнитната вълна през изследваната среда. За целта е използван участък от тестов профил, преминаващ над напорния водопровод с диаметър 300 ст. Дълбочината на горнището му под земната повърхност в профилирания участък е около 3,5 m. Скоростта на георадарните електромагнитни вълни е определена чрез последователни ръчно въведени промени в стойностите й. По този начин е намерено възможно най-добро съвпадение на първото встъпление на вълната на границата между вместващата среда и тръбата като същевременно дълбочината по вертикалната ос отговаря на реалната. Получената скорост v = 0,15 m/ns е близка до табличната скорост за плътни сухи глинести почви, която е v = 0.173 m/s. Тази стойност може да се приеме за достоверна, тъй като земнонасипната стена е изградена от глина. На радарграмите скоростта по вертикалната ос (вдясно) има два пъти по-големи стойности, защото се отчита двойният път на времето, т.е. от предавателя до отражателната повърхност и обратно – от отражателната повърхност до приемника.

Георадарните профили картират достатъчно плътно изследваната площ. На фиг. 5 и фиг. 6 са представени радарграмите, получени след обработката на данните и въвеждането на скоростите. На тях ясно се вижда наличието на нееднородности в структурата на стената на водоема и геоложката основа.

Анализ на резултатите и изводи

Комплексният анализ на резултатите от проведените електротомографски и георадарни проучвания и в съответствие с проектните параметри на водовземната шахта и тръбопровода за МВЕЦ "Лозята-1" дава основание да се направят следните по-важни констатации.

- (1) В новоизградения участък на стената на изравнителен водоем "Кричим" се установяват четири зони с поголяма водопропускливост:
 - Зона-1 очертава пространството около и над тръбите на напорния водопровод;
 - Зона-2 обхваща приповърхностната част на разреза до дълбочина 2-3 m и на около 1-4 m западно от оста на напорния водопровод;
 - Зона-3 развита е в най-източната част на новоизградения участък на площ с широчина 5-6 m и до дълбочина 3-4 m, в непосредствена близост до границата със старата част на стената;
 - Зона-4 заема западната приповърхностна част на новоизградения участък до дълбочина 2-3 m, в близост до границата със старата стена.
- (2) Водното ниво в стената се установява на дълбочина 2,3 2,5 m.
- (3) Нивото на подземните води е на дълбочина 7-8 m от земната повърхност.

Разположението на детерминираните зони с повишена водопропускливост, водното ниво в стената и нивото на подземните води е представено на фиг. 7 и фиг. 8.

Установените по-силно водопропускливи зони в новия участък на стената на изравнителен водоем "Кричим" са предпоставка за възникване на течове в сухия откос при повишаване на водното ниво до проектната максимална кота. Това обстоятелство значително стеснява възможностите за нормалната работа на съоръжението и може да доведе до тежки аварийни ситуации, в това число и до нарушаване на цялостта на стената. За повишаване на безопасната и по-ефективна експлоатация на водоема е наложително да се предприемат спешни действия за уплътняване на насипа в установените рискови зони с цел намаляване на тяхната водопропускливост.



Фиг. 7. Зониране по водопропускливост в разрезите по ГРП-1 и ЕТП-1 (ситуационният план е представен на фиг. 2)



Фиг. 8. Зониране по водопропускливост в разрезите по ГРП-2 и ЕТП-2 (ситуационният план е представен на фиг. 2)

Литература

- Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. 2007. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – *BULAQUA (БУЛАКВА)*, 4, 47-55.
- Христов, Хр., Е. Алтимирски. 1990. *Радиотехническа* електродинамика и разпространение на електромагнитните вълни. С., Техника.
- Conyers, L. B. 2012. Interpreting Ground-Penetrating Radar For Archaeology. Left Coast Press Inc.
- Daniels, F., R.A. Alberty. 1966. *Physical chemistry*. John Wiley and Sons, Inc.
- Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. J. of Applied Geophysics, 29, 211-226.

- Jol, H. M. 2008. Ground Penetrating Radar Theory and Applications. Elsevier.
- Keller, G.V., F.C. Frischknecht. 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford.
- Loke, M. H. 2001. A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the leastsquares method. Geotomo Software, Penang, Malaysia, p. 96.
- Loke, M. H., R. D. Barker. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. - *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Статията е рецензирана от проф. д-р Ради Радичев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

GEENERAL PRINCIPLES OF THE KINEMATIC MODELS USED IN EARLY WARNING SYSTEMS – EARTHQUAKES AND TSUNAMIS (VENICE CASE)

Ivan Parushev, Boyko Ranguelov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, parushev92@gmail.com

ABSTRACT. The seismic early warning systems (SEWS) and tsunami early warning systems (TEWS) are the product of the last and most modern achievements of the recent practical Earth's science. Heavy earthquakes occurred in Japan (2011), Sumatra (2004), Chile (2010), Solomon Islands, etc. These earthquakes demonstrated the need of such systems. All known SEWS are based on the fundamental physical property of the seismic waves propagation: the P-waves (with lower amplitudes and smaller destructive potential) travel approximately 1.71 times faster than the S waves (with several times larger amplitudes and much more destructive potential due to the medium particles movement perpendicular to the wave ray propagation). Up to now – only Japan has fully operative and effective SEWS introduced in operation in 2007 and TEWS some years earlier. Their efficiency was demonstrated during the M9 earthquake on 11th March, 2011. All TEWS are based on the time differences between the propagation velocity of the seismic and the tsunami waves. Several very peculiar cases and models have been developed for Venice in two directions: 1) The SEWS about some typical cases – seismic sources defined according the seismic zoning maps of Italy; 2)The TEWS about a case of the tsunami sources located around the Venice in the Adriatic Sea. The results of these models are under investigations and discussion.

ОБЩИ ПРИНЦИПИ НА КИНЕМАТИЧНИТЕ МОДЕЛИ ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ СИСТЕМИТЕ ЗА РАННО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ – ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ И ЦУНАМИ (НА ПРИМЕРА НА ВЕНЕЦИЯ)

Иван Парушев, Бойко Рангелов

Минно-Геоложки Университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, parushev92@gmail.com

РЕЗЮМЕ. Системите за ранно предупреждение при земетресения и цунами са практически приложения на най-напредничавите постижения на съвременните науки за Земята. Тежки земетресения станаха в Япония (2011), Суматра (2004), Чили (2010), Соломоновите острови и др. Тези земетресения показаха нуждите от подобни системи. Всички сеизмични системи се основават на едно фундаментално свойство на сеизмичните вълни: Р вълните (с по-малки амплитуди и по-малък разрушителен потинциял) се разпространяват в твърдите среди със скорост приблизително 1.71 пъти по-бързо от S – вълните (с няколко пъти по-големи амплитуди и благодарение на свойството частичките на средата да трептят в перпендикулярна посока на разпространение на вълните имат значително по-голям разрушителен потинциял. Понастоящем, само Япония притежава функционираща сеизмична система за ранно предупреждение, пусната в експлоатация през 2007г. както и такава за предупреждение от цунами. Всички системи за предупреждение от цунами се основанват на разликата в скоростите на разпространение между сеизмичните вълни и цунами. Всички системи за предупреждение от цунами се основанват на разликата в скоростите на разпространение между сеизмичните вълни и цунами. Всички системи за предупреждение от цунами се основанват на разликата в скоростите на разпространение между сеизмичните вълни и цунами вълните. Няколко специфични кинематични модела се отнасят за Венеция и са развити в тази разработка: 1) Сеизмична система за ранно предупреждение от типични земетръсни отнища тази разработка.

Introduction

Venice as a world cultural heritage city is threatened by many natural hazards - floods, lagoon fulfillment, pollution, etc. This part of our research is focused to the possible negative influence of two natural hazards - earthquakes and tsunamis. Both hazards are wide spread in Italy since historical times until the present days. Our investigations are related to the possible hypothetical kinematic models of both hazards and possible building of the early warning systems related to these both dangers. Even though there is no strong evidence about the influence of these hazards during the historical times, the increased urbanization and the complex combined effects create our interest to model such EWS, in the context of the vulnerability assessment and resilience of Venice. According to the new seismic zoning maps of Italy (Slejko et al., 1998), Venice is attributed to the zone of expected PGA between 0.08 and 0.12 g for 475 return period (which is a standard for EU) and macroseismic intensity of VII MSC, with a probability of exceeding 0.1g in 20 years. This suggests the expected

seismic shaking, which could be dangerous for the historical buildings in Venice. The tsunami danger was assessed as a few centimeters (Paulato et al., 2007), but during the flooding time these few centimeters could significantly increase the influencing negative effects to the flooded areas. The methodology of the hypothetic kinematic models and their application to the early warning systems (seismic and tsunami) is developed and applied to other regions in Europe, specifically Bulgaria and Romania.

Theoretical fundamentals and methodology

The typology of the Early Warning Systems (EWS) could be systemized in two big groups:

- Seismic EWS (SEWS) working in the time domain of seconds to minutes and
- Tsunami EWS (TEWS) effective in the time domain of minutes to hours.

The TEWS such as the transoceanic tsunamis required (for example PTEWS and ITEWS - located in the Pacific and Indian oceans) time of warning issue between hours. All known SEWS are based on the fundamental physical property of the seismic wave's propagation: the P-waves (with lower amplitudes and smaller destructive potential) travel approximately 1.71 times faster than the S waves. The Pwaves have compression movements of the particles of the solid strata and move to the ray propagation path. These waves are the fastest and have the highest velocity - between 6 and 8 km/s. The amplitudes of the P-waves are frequently the lowest in the whole phase package of any seismic wave emitted by the seismic source. The S-waves - with several times larger amplitudes and much larger destructive potential due to the medium particles movement perpendicular to the wave ray propagation have lower velocity. The S-waves also do not propagate trough liquids. The equation:

$$V_{\rho}/V_{s}=2^{1/2}$$
 (1)

is the fundamental relationship on which the kinematic SEWS are functioning (Ranguelov and Iliev,2013). This relationship always exists in the solid ideal body and is an immanent property of any ideal elastic medium. Frequently in the earth crust this relationship shows smaller value due the not ideal elasticity of the Earth's strata.

The travel time function F (d, $t_{p,s}$) presents the relationship between the travel times of the different waves phases (S, P, Sg, Pg, Sb, Pb, etc.) and the distance to the seismic source. The function in the coordinate system (d,t) is usually a straight line, depending of the velocity of the seismic waves in the respective layer. The travel time function is the main relationship, which is used to calculate the kinematic models of the time deficit EWS. The main principle of the SEWS requires longer time propagation from the seismic source to the endangered territory, which means longer distance. This time (t_p - t_s) is called "warning time" and presents the difference between the P and S waves arrival to the threaten object.

The TWES are based on a similar relationship, but in the two strata – water and the solid Earth.

As was pointed out that the seismic waves are propagating with very high velocities - in the range of km/s. The tsunami waves are propagating with much lower velocity - between tens and hundreds of km/h. The time difference between the tsunami and the seismic waves can reach the range of 10² to 10⁴ of seconds. The case of time deficit in such systems can be conditionally limited to 2-3 hours between the time of occurrence of the earthquake that generated the tsunami and the arrival time of tsunami to any vulnerable object located on the coast. The important peculiarity of the tsunami waves is that they are moving with very low amplitudes (not larger then few meters - in the extreme cases) and very low frequencies (long lengths of about tens to hundreds of kilometers) in the open ocean, where they propagate with higher velocity (between 800 and 1000 km/h). Near to the coast the amplitude of the tsunami wave increased dramatically and can reach tens of meters. The velocity is decreasing, but in any case is over 40 km/h (the highest speed anybody can reach in sprint short distances is always lower).

There is another peculiarity of the tsunami wave propagation and interaction with the bottom bathymetry – this is so called refraction. The refraction means that frequently the tsunami energy can be focused to the selected parts of the coast due to the ray refraction of the wave (Ranguelov, 2014).

There are also some specifics in the wave-coast interaction:

- a. smooth bottom and long waves the increase of the water level is going smoothly like fast tide
- b. deep bottom and short waves the increase of the wave water front is like wall so called "bore"
- c. intermediate cases, sometimes accompanied by dispersion higher frequency, but lower amplitude of the incoming waves.

All described peculiarities suggested that in case of tsunami (especially in the time deficit domain is possible to observe high waves and low sea level very close in space, sometimes just few kilometers). Such an effect increased the probability of the false alarms. So such cases need compromising approach – economy of time versus more frequent false alarms (Ranguelov, 2011). In our case of research two hypothetical approaches are performed:

Hypothetical Seismic kinematic model (Ranguelov and Iliev, 2013)

It is based on the assumption that P waves are traveling from each seismic source to the city of Venice. The seismic sources are outlined by the researchers during the construction of the seismic zoning map of Italy (Slejko et al. 1998). The seismotectonic model considered all known seismic events occurred on the territory of Italy simplified as geometrical polygons.

According to the new seismic zoning maps of Italy (Slejko et al. 1998)., Venice is attributed to the zone of expected PGA between 0.08 and 0.12 g for 475 return period (which is a standard for EU) and macroseismic intensity of VII MSC, with a probability of exceeding 0.1g in 20 years. This suggests the expected seismic shaking, which could be dangerous for the historical buildings in Venice.

To investigate the expected travel times of the first P wave arrivals ("signaling" - seismic phase) we use the calculated model of Jeffrey's-Bullen table. (Ranguelov, 2014). The graph is presented on fig. 1. On the same graph the S-P travel times ("warning time") are also plotted. All these data are used to model the kinematic peculiarities of the P, S and S-P waves travel times for each distance between the respective seismic zone and the city of Venice (fig. 2.). The zones are extracted from the seismic zoning map of Italy (Slejko et al. 1998), applying the same approach of the "Low" and "High" seismic active zones. The geometric centers of each zone are obtained by special software (Golden Software's Surfer).

Hypothetical tsunami kinematic model (Ranguelov, 2013)

The hypothetical tsunami kinematic models have been investigated by many scientists - for example (Ranguelov, 2011). The travel times of the tsunami wave's propagation from the respective tsunamigenic source to Venice have been calculated using acceptable models - for example (Ranguelov, 2013). The results of (Paulato et all, 2007), show the travel times from the established tsunami sources, together with the expected wave heights at the lagoon of Venice. According these results the travel times are enough for the evacuation measures, thus decreasing the tsunami risk for the city of Venice from the influence of the possible tsunamis generated in the Adriatic Sea. On one side this is acceptable low risk for the population. On the other - the possible additional tsunami influence to the effects of the floods - seasonal or generated by storm surges can increase dramatically the destructive potential in case of such coincidence. That's why an effective tsunami warning system could be very useful for the Venice resilience to the combination of the tsunami and seismic risks. To avoid such risks a combination of the seismic and tsunami early warning systems could benefit by the city administration of Venice. Such experience have been developed and used by the Bulgaria-Romania border region including marine hazards in the sea and on the land.

Results and discussion

As it was mentioned before the seismic sources have been divided in two classes – "high" and "low" seismically active. The modelled calculations covered both types. For illustration we presented only the "high" seismic active zones (fig. 3). It is clearly visible that the nearest distances are due to the Central Apennines seismic zones located at the distances between 130 and 200 km. On the same figure all other distances are plotted with different colours. This gives the possibility to estimate the farer seismic areas, which can generate seismic signals at the distance more than 800 km.

On fig. 3A the average travel times of the P waves are presented. They show that the minimum travel times from the "high seismic" zones range between 30 and 36 seconds. These travel time are very short, but gives a possibility of the automatic systems to switch off the lifelines in the city. Some chances for the population to evacuate at the more secure places are also available. The larger "signaling" times are expected from the most far zones and range between 110 and 120 seconds (about 2 minutes). The "warning" times (ts-tp) varied between 19 and 88 seconds – fig.3B. These time intervals between the first arrivals of the "signaling" P waves and the most destructive "damaging" S waves also provide some time for reaction.

The tsunamigenic zones at the Adriatic Sea – most dangerous for the Venice lagoon are extracted from M. Paulatto et al. (2007) (fig. 4). The distances and the travel times are modeled following the methodology described in (Paulatto et al, 2007) and presented at fig. 4. and the Table 1. The distances varied between 130 to about 700 km and the travel times respectively between 130 to about 380 minutes.



Fig. 1. The travel times for the different seismic phases – according to Jeffries - Bullen tables



Fig. 2. A) Seismotectonic sources of Italy according (Slejko¹⁹⁹⁸) and distances between them and Venice. B) Distances between the high seismically active zones Venice



Fig. 3. A) Average travel times of the P-waves between the highly active seismic sources in Italy and Venice. B) Travel times differences ts-tp between the high active seismic sources and Venice

Algorithms of the kinematic early warning systems (models for earthquakes and tsunamis). The algorithms of the early warning system action is developed on the kinematics of the seismic (respect. tsunami) waves. The algorithms are developed on the basics described in the fundamentals section and consider the different velocities of the P and S waves (for the SEWS) and seismic and tsunami waves (in case of the TEWS) (Ranguelov et al., 2006).

The installation of the hardware needs to follow some general considerations:

- 1. Selection of the locations according the seismic sources geography
- 2. Travel times curves for the transformation of the distances to the time domain.
- 3. Use of the P-waves times for the signalization of the event and triggering the whole system.
- 4. Seismic station optimization according the seismic sources locations and common use (in some cases) of the same equipment (if possible)

Ta	ble	e 1	
----	-----	-----	--

Distances and travel times from tsunamigenic zones to VeniceZone №Epicentral distance,
(km)Travel time
(min)13311882219135

2	219	135
3a	451	215
3b	474	259
4	693	379
5	567	310
6	130	132



Fig. 4. A) Tsunamigenic zones in the Adriatic Sea and surroundings. B) Travel times for the tsunami waves from the tsunamigenic sources to Venice

- 5. The trigger stations located to the nearest point of any epicenter.
- 6. Use of some stations locations of the equidistant travel times to the seismic sources.

7. Peripheral stations for detection of the strong seismic motions with sources outside the network geometry.

The general steps follow the philosophy that it is essential to have a signal for the hazardous event (earthquake or generated tsunami) as soon as possible after its generation (Ranguelov, 2010). As the seismic P,S - waves velocities are in the range of km/sec it is essential to have a seismic sensor as possible as to the nearest point of the epicenter. The same is valid when tsunami wave is generated by the seismic (or other type tsunamigenic event – landslide, turbidities, volcanic ash slump, etc.). When the threshold is considered for the dangerous event, if the registered level is higher, then the whole algorithm is triggered. Then the following steps are necessary:

- 1. P-wave signal that the event is generated and the waves are propagated. (Usually such signal triggers the entire network).
- 2. Modeling of the wave's propagation direction, following the consecutive triggered seismic devices.
- Selection of the precomputed scenario (this is valid for the tsunamigenic sources, because of their variety in magnitude, location, bottom and costal geometry and other influencing the tsunami propagation parameters). The selection is closely related to the so called – decision matrix.
- Modeling of the time of incoming S-waves (for the SEWS) and the time delay of the S-waves, following the P waves. Zonation to near distance, middle distance and long distance and introduction of the "green", "orange" and "green" signaled zones.
- Same for the tsunami waves. The confirmation of the tsunami waves generated by the disturbing event (earthquake, slump, fast subsidence, etc.) usually is performed by the bottom located devices (microbarographs, sea-level measuring devices, OBS, DART, etc.) like effective hardware.
- 6. Decision for the warning issue the decision matrix.
- 7. Warning issue to the clients population, civil defense authorities, decision makers, administrations, etc.
- The combined warning issue in case of simultaneous action of earthquakes, landslides, turbidities (or other generating events) and tsunamis.
- 9. The transmitting possibility of the warning is in various ways SMS, i-phone adds, e-mail message, pager signal, TV, radio emissions, sound or light signals, etc.
- 10. Cancelation of the warning after the event passed.

To perform these algorithms a lot of specific actions must be performed (Ranguelov et al., 2011). The most important one is the hardware (devices) installation as possible closer to the seismic (tsunami) source. This could be a specialized seismic strong motion device, or the nearest seismic station of the national seismological network (fig. 5 and fig. 6).

Suggestions for the early warring systems – tsunamis and earthquakes (Venice)

Considering the results obtained by the investigations of the kinematic models – both for the earthquakes and tsunamis two



Fig. 5. Seismic sources (according Slejko, 1998) and the nearest seismic stations of the Italian national network to each source



Fig. 6. Travel times from the center of each tsunamigenic source to the city of Venice

possible directions could be suggested (Ranguelov et al., 2012):

- To use the existing infrastructure of the national seismic network in Italy. This means to use the closest seismic sensors to the respective seismic zone, to trigger the signaling device in Venice. The advantage of such approach do not need special network creation covered the whole Italy.
- Another approach is to create the new established system locating in each seismic source specialized devices and connect all of them in a specialized SEWS. This approach

creates independent approach to the SEWS use, but a unification of all devices in the SEWS and TEWS is essential.

- The creation of a TEWS is necessary due to the possibility of a coincidence in time of the high water level (for example seasonal flood or storm surge, etc.) and the tsunami generation in a far field source. In such a moment the small additional water level increase can generate much more destruction due to the nonlinear effects observed in similar situations.
- The TEWS needs a specialized approach for the assessment of the locations and the equipment of it. The previous investigation show that each site needs rather specific equipment, based on the specialized investigations (Ranguelov, 2011), based on the local conditions. In any case the complex bottom stations are an obligatory element of such systems. (Ranguelov, 2014; Ranguelov et al, 2013).
- The construction of a specific decision matrix, specialized protocols of announcements and other elements providing the warning issue to the authorities and population is another direction which must be developed for any EWS.

Conclusions

The kinematic modes about seismic and tsunami early warning systems are developed using the standard methodology of the travel times for seismic S and P waves as well as for the tsunamis travel times.

The models covered all seismic active zones in Italy. They have been divided into two main groups – "high" and "low" seismic zones. For both types the travel times of the P, S, and S-P seismic waves to the city of Venice are calculated. These calculations can be used by the local authorities, decision makers and other responsible institutions (like Civil Defense of Venice) for the development of a SEWS providing resilience of Venice infrastructure and population in case of strong earthquake occurring anywhere in Italy.

The models of the travel times of tsunamis propagating trough the Adriatic Sea and the calculations of them show relatively high effectiveness of the TEWS regarding Venice lagoon and low coasts.

Some practical considerations are presented about the organization of a SEWS and TEWS in the region of Venice, using the existing seismic network of Italy or creation the own infrastructure of these early warning systems.

Acknowledgments. This work is partially supported by Contract DFNI-T01/0003 – 2012.

References

- Paulatto, M., T. Pinat, F. Romanelli. 2007. Tsunami hazard scenarios in the Adriatic Sea domain. - Nat. Hazards & Earth Syst. Sci., 7, 309–325.
- Ranguelov, B. 2010. Atlas of the tsunami risk susceptible areas along the Northern Bulgarian Black Sea coast, Balchik site. 25 p.
- Ranguelov, B. 2011. Natural hazards nonlinearities and assessment, Acad. Publ. House (BAS), 327p.
- Ranguelov B. 2013. Complex geophysical investigations natural hazards, monitoring and early warning systems, on land and in the black sea. - *Proc. of the 4th Int. scientific and technical conference "Geology and hydrocarbon potential of the Balkan-Black Sea region" 11 - 15 September, Varna, Bulgariag* 257-263.
- Ranguelov, B. 2014. Early warnings Bulgarian experience in case of time deficit systems (earthquakes and tsunamis). *Proceeding 1/2, 5th ICC&GIS 2014*, 738-745.
- Ranguelov, B., T. Iliev. 2013. A kinematical model of the Seismic Early Warning System (SEWS). *Proc.* 7th Balkan Geophysical Congress, *Tirana*, 7-10th October.
- Slejko, D., L. Peruzza, A. Rebes. 1998. Seismic hazard maps of Italy. Annali di geofisica, 41, 2, 183-214.
- Ranguelov, B., A. Georgiev, E. Spassov. 2006. Natural hazards and early warning systems. *Ann. M&G University*, 49, 1, 209-212.
- Ranguelov, B., R. Radichev, S. Dimovsky, G. Oaie, R. Dimitriu, M. Diaconescu, A. Palazov, O. Dimitrov, S. Shanov, N. Dobrev. 2011. MARINEGEOHAZARDS Project – key core elements of the early warning system in the Black Sea. -*Ann. of M&G University*, 54, 1, 177-182.
- Ranguelov, B., G. Mardirossian, N. Marinova, E. Spassov. 2012. Early warning systems – EWS (earthquakes and tsunamis) and their effectiveness. - Seventh scientific conference, "SES2011", 29th November – 1st December 2011, Sofia, Bulgaria, 307-312.
- Ranguelov, B., I. Paskaleva, R. Radichev, S. Dimovsky, Ch. Tzankov, A. Kisiov, M. Yankova, T. Iliev, M. Vasileva. 2013. Complex geophysical investigation for development of seismic monitoring and quasi EWS around Pernik city. -*Proc.* 7th Balkan Geophysical Congress., Tirana, 7-10th October, 2013 (on CD).

The article is reviewed by Prof. Dr. Ivanka Paskaleva and recommended for publication by the Department "Applied Geophysics".

ГЕОФИЗИЧЕН КОМПЛЕКС ЗА ИЗУЧАВАНЕ НА ПОВЪРХНОСТНИЯ ГЕОЛОЖКИ РАЗРЕЗ В РАЙОНА НА ЗЕМЕТРЕСЕНИЕТО ПРИ ГРАД ПЕРНИК ОТ 22 МАЙ 2012 Г.

Бойко Рангелов, Христиан Цанков, Цветан Груев

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

РЕЗЮМЕ. В рамките на проект СИМОРА са проведени комплексни геофизични измервания за установяване на повърхностния (десетки до стотици метри) геоложки строеж в района на земетресението Перник – 22 Май, 2012 г. Използваният комплекс включва електротомографски и георадарни измервания, успоредно с радиометрия и капаметрия. Електротомографските профили, практически съвпадат с георадарните и позволяват определянето на електросъпротивителните свойства на най-горната част от геоложкия разраз. Георадарът служи за потвърждение или отхвърляне на по-малко мащабни електромагнитни смутители. Интерпретацията на получените данни показва наличието на няколко особености в разреза – наличие (отсъствие) на повърхностни разломявания, относителна дълбочина на подпочвените води, наличие (отсъствие) на електрически нееднородности, дължащи се на ефектите на теригенната седиментация. Получените резултати са полезни за обяснение на повреди и разрушения в сгради и съоръжения фундирани в различни грунтови условия.

GEOPHYSICAL COMPLEX STUDY OF THE SHALLOW GEOLOGY IN THE AREA OF PERNIK EARTHQUAKE 22nd MAY, 2012 Boyko Ranguelov, Christian Tzankov, Tsvetan Gruev

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

ABSTRACT. Complex geophysical investigations (in the frame of the SIMORA project) are performed in the area of the Pernik M5.8 earthquake of 22 May, 2014. Electric tomography and georadar measurements have been done massively to establish the electrical inhomogeneities due to the different reasons – faults, ground water's level, etc. The interpretations of the measurements results show different peculiarities of the cross-sections – surface faults, surface underwater level, other electromagnetic anomalies. The georadar gives results of the most surface part of the ground. The low penetration is useful for shallow anomalies generated by the electromagnetic inhomogeneities. The observed relationships and the obtained results could be very useful for the explanation of the damages observed to the different structures and buildings.

Въведение

Изучаването на дълбочинните особености на всяко огнище на земетресение, изисква отчитането на редица фактори, свързани със сеизмотектонските и сеизмогенерационни условия за възникване на сеизмично събитие. Успоредно с това не бива да се пренебрегват и повърхностните грунтови условия, често явяващи се източник на добавъчни ефекти към разрушителната сила на сеизмичните вълни и понякога водещи до местно усилване на сеизмичното въздействие, достигащи 2-3 степени над очакваните ефекти по сравнение със стабилна скална основа.

Дълбочинна характеристика на земетресението от 22 Май, 2012

Дълбочинните особености в геотектонската и геодинамична обстановка в района на земетресението от 22 Май 2012г. в района на гр. Перник са добре изследвани и дават почти пълна представа за процесите, довели до земетресението с М 5,8 (Рангелов и др., 2013а, б; Рангелов и Паскалева, 2013) и последвалите го следтрусове (Ranguelov, 2013а,b). Основните фактори довели до това сеизмично събитие са: режим на екстнезия в района на труса (следващ директно от механизма на главния трус, установен от редица международни сеизмологични центрове), блоков строеж (доказан при изследванията на гравитационното и магнитно поле в района), разпределението на афтершоковата поредица след основното събитие във времето и пространството (Ranguelov et al., 2013). В резултат е конструиран сеизмотектонски модел (фиг. 1) доказващ асиметрично, листрично, антитетично разломяване довело до реализация на сеизмичната енергия, отделена при главния трус и последвалите го афтершокове (Рангелов и др., 2013а,6).

Комплексни геофизични изследвания на плитките хоризонти в района на земетресението

Земетресението с магнитуд 5,8 предизвика масови ефекти от VIII степен по ЕМС. Бяха заявени поражения на над 8000 сгради, което за трус с подобна сила е повече от средното.

Поредица изследвания установяват, че най-силните по-



Фиг. 1. Сеизмотектонски модел на земетресението от 22 Май 2012 г. – асиметрично, антитетично, листрично, разломяване

1 – сили на екстензия; 2 – посоки на движението на пропадналия блок при земетресението; 3 – линии на листричното разломяване; 4 – посока на пропадане на целия блок; 5 – зона на разрушаване на средата по време на основния трус (вероятен източник на относително по-високочестотните колебания); 6 – най-ниска зона на пропадането (вероятен източник на относително по-нискочестотните колебания) (Рангелов и др. 2013)

ражения и разрушения са локализирани не в епицентралната зона на главния трус, а малко по на северсевероизток. Причините за това могат да бъдат търсени в няколко посоки. Наличие на хоризонтални нееднородности в най-горната част на земната кора, наличие на слабо споени седименти в грабеновата структура на Пернишкия грабен и най-накрая, но не по важност – наличие на плиткозалягащи грунтови води в райони на заблатявания, речни тераси и корита и местни извори и водоизточници от различен характер.

Плитките ефекти от земетресението се обуславят на дълбочини от единици до десетки метри. За изучаването им са използвани едни от най-силните геофизични методи – Георадар и Електротомография.

Електротомографски изследвания. Електротомографията е метод, установяващ пространственото разпределние на електричното съпротивление по профили с поставени електроди – захранващи и приемни. Изпълнена е чрез измерване с Апаратура Terrameter SAS 1000, която работи с изходно напрежение 450 V и максимален изходен ток 1000 mA. Един типичен електротомографски профил от района на Перник е показан на фиг. 2.



Фиг. 2. Електротомографски профил от района на Перник – синият цвят показва ниски съпротивления, а червеният – високи

Общо са прокарани 25 профила (фиг. 3), като с тях са покрити почти всички геоложки особености, наблюдавани в района - измервания са правени в Пернишкия грабен и на границите му с околните геоложки комплекси. Сериозно внимание е обърнато на карбонатните кредни комплекси, където е главното развитие на сеизмогенерациония процес, както и в района на яз. Студена. Основните цели на измерванията са няколко:

- Да се установят възможни повърхностни ефекти на разуплътняване свързани с разломявания в горната част на геоложкия разрез. Те са типични проявления в условията на екстензионен режим.
- Да се установят зони на слабоспоени повърхностни седименти, които имат свойството да усилват сеизмичния ефект.
- Да се установят зони на плитко залягане на подземните води, които също са важно условие за повишаване на наблюдаваната интензивност на сеизмичните въздействия вследствие на преминаването на сеизмичните вълни.
- Да се набележат места със стабилна земна основа за евентуалното разполагане на измервателната апаратура – акселерометри за сигнализиране на наблюдавани по време на трус ускорения.

Трябва да се отбележи, че извършените полеви измервания с електрическата томография, често са ограничавани от възможностите за провеждането им залесени участъци, пресечен релеф, липса на пътища и др. Резултатите от измерванията позволяват систематизация на наблюдаваните особености които могат да бъдат подредени в няколко типа: профили с хоризонтално и субхоризонтално залягане на проводящите и съпротивителни слоеве – напр. № 11, 12, 9, 1, 18, 21, 23, 13 и др.: профили с наклонено разполагане на проводящите граници (тук идентифицирани, като порявления на възможно субповърхностно разломяване) – напр. № 15,16, 3, 24, 8 и профили с ривърсно разполагане на съпротивлението – напр. № 20, 7, 26, 13, 14 (тук интерпретирани, като зони с плитко разполагане на подземните води). Разбира се, подобни класификации изискват задълбочен анализ за всеки профил.



Фиг. 3. Пространствено разположение на електротомографските профили в района на гр.Перник и околностите му

Илюстративно са показани различните наблюдавани електросъпротивителни профили, обусловени от различни

причини. Задълбочената интерпретация подсказва различни генетични източници за измененията върху наблюдаваното електротомографско поле.

Вследствие на опъновите напрежения и разуплътнението на най-горната част на разреза от главния трус и последвалите го афтершокове, листрични ефекти от възможното разломяване показват няколко профила с намаляващо съпротивление в дълбочина и изклинваща граница между крилата на образуваните листрични призми – напр. профили № 26 и 6 (както и профили № 24, 15, 16 и др.), разположени почти симетрично спрямо оста на изтегленост на сеизмичното огнище в карбонатната структура на Голо Бърдо (фиг. 4).





Профил 26

Фиг. 4. Профили 6 и 26 – типични представители на продполагаеми ефекти от листричното разломяване по периферията на карбонатния комплекс и седиментни участъци

Голяма част от профилите демонстрират повишено повърхностно съпротивление, последвано от намаляване в дълбочина. Този вид профили се интерпретират като повърхностна високоомна среда. Намаляването на съпротивлението в дълбочина най-вероятно се дължи на достигане до нивото на подпочвените води. Такива са например профили № 7, 9, 10, 11, 14 и др. Този вид електросъпротивителни профили са развити главно в южната периферия на изследвания район (фиг. 5 и фиг. 6). Наблюдава се и обратна тенденция – нискоомен повърхностен слой, последван от по-високоомна квазихоризонтална среда (напр. профили 17, 18).

Голяма част от електротомографските профили, отразяват електрически нехомогенности предизвикани от различните електрически свойства на скалните комплекси в района. Подобни примери са профили 15, 16, 4-6 и др.

Георадарни измервания. Георадарните измервания са проведени с апаратура *Георадар (модел SIR-3000)* и съответната му антена (фиг. 7). Доколкото георадарът е устройство, излъчващо електромагнитни вълни с висока честота, неговата дълбочинност е силно ограничена. Найдобра разделителна способност и контрасност се получава

на малки дълбочини от 0 до 10-15 метра. Методът е високо ефективен при търсене и проучване на силно проводящи и силно изолаторни среди, затова е използуван за уточняване на проводящи (съпротивителни) нееднородности в най-горната част на геоложкия разрез (фиг. 8). Почти всички профили са разположени върху или успоредно на електро-томографските измервания. Направени са и опитно-методични работи за измервания от автомобил, където това е възможно, например в банкета на (не)асфалтиран път. Получените резултати силно се влияят от повърхностните почвени условия, влажност, плътност, така че тези пречещи фактори не могат да бъдат избегнати.



Профил 7









Профил 17





Фиг.6. Профили 17 и 18 – проводяща среда подстилана от повисокоомна – индикация за вероятни повърхностни карстови ефекти в карбонатите На фиг. 9 е показано пространственото разположение на георадарните профили върху геоложката основа на района. Детайлната корелация на наблюдаваните аномалии с електротомографските профили е направена с отчитане на валежните условия по време на измерванията.



Фиг.7. Георадар с антена.

Време – 0-600 [ns]	Мах. дълбочина – 0-30 м.		

Фиг. 8. Типичен георадарен профил – дълбочина на проникване с добра разделителна способност - около 10 м



Фиг. 9. Географско разположение на георадарните профили върху геоложката основа

Нехомогенностите в електроматгнитните свойства на повърхностния геоложки строеж се дължат на множество различни фактори: скали с различни свойства (карбонати, основна скала и седименти), граници и контакти между тях, наличие на по-едри валуни в седиментите, наличие на карст, наличие и отстъствие на грунтови води, смутители от техногенен характер и мн. др.

Типични представители на тези нехомогенности се наблюдават на много от профилите. Доколкото дълбочинността на метода е по-малка, пряка корелация с електротомографията не бива да се търси. И все пак, наличието на електосъпротивителни нехомогенности се потвърждава и с редица профили от георадара – напр. профили 5, 6, 9, 10, 17, 20 и др.



Профил 10

Фиг. 10. Сравнителен анализ на профил 10 – електротомография и георадар – виждат се границите на скалните комплекси в дълбочина (в средата на профила) и високоомния обект – вляво на профилите

За пълнота на комплексните геофизични изследвания са проведени и точкови измервания на магнитната възприемчивост и радиоактивността главно в карбонатния комплекс на Голо Бърдо. Установено е, че липсват значителни аномалии в района. Стойностите на радиационния фон са в рамките на 0,09-0,12 mkSv/h (интегрална доза), което е нормално за варовици и ниски стойности на магнитната възприемчивост – в рамките на 0,08-0,16x10-³SI (за варовиците) и 0,003-0,006x10-³SI (за чист калцит в калцитните жили).

Изводи и заключение

- Геофизичният комплекс от повърхностни методи (георадар и електротомография) дава възможности за изучаване на приповърхностния разрез в огнището на земетресението от 22 Май, 2012г. в околностите на гр. Перник на дълбочини от няколко да няколко десетки метри.
- Установените закономерности от електротомографските измервания, позволяват уверено да се правят обосновани изводи за повърхностния строеж на разреза и неговото отражение върху съпротивителното поле: наличие на грунтови води, разломяване от листричен тип, нехомогенности доминирани от геоложкия строеж и скалните разновидности.
- Повърхностните условия са важен фактор за наблюдаваните ефекти от земетресението – специфично разпределение на полето на интензивностите (установени по наблюдаваните разрушения на сгради

и съоръжения) и взаимната връзка с относително плитко залягащите хоризонти от геоложката среда.

Благодарности: Тази разработка е подкрепена от Проект СИМОРА (ДФНИ Т01/0003)

Литература

- Рангелов, Б. и др., 2013. Комплексни геофизични изследвания в района на Перник., XIII межд.н.конф. ВСУ, 2013. VI-7 VI-11.
- Рангелов, Б., И. Паскалева. 2013. Огнището на земетресението и моделиране на сеизмични ефекти в района на Перник. - XIII межд. н. конф. ВСУ,. VIII-20 - VIII-24.
- Рангелов, Б., Р. Радичев, С. Димовски, И. Паскалева, Хр. Цанков, А. Кисьов, М. Янкова, Т. Илиев, М. Василева., 2013. Комплексни геофизични изследвания – основа

за построяване на геодинамичен модел и изграждане на система за сеизмичен мониторинг в района на град Перник – Проект СИМОРА. - *Ann. of M&G University*, 56, 1, 150-157.

- Ranguelov, B., 2013a. Pernik Earthquake of 21st May, 2012 and SIMORA Project., - *Сб. Докл. "Дни на Физиката* – *ТУ*, *16-20 Април*, *2013", София*. 141-146.
- Ranguelov, B. 2013b. Seismological and Geodynamic Investigations in the area of Pernik and Surroundings. -XXIII International Symposium "Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields., November 7 – 8, 2013, Sofia.
- Ranguelov, B., I. Paskaleva, R. Radichev, S. Dimovsky, Ch. Tzankov, A. Kisiov, M. Yankova, T. Iliev, M. Vasileva. 2013. Complex geophysical investigation for development of seismic monitoring and quasi EWS around Pernik city. -*Proc.* 7th Balkan Geophysical Congress., Tirana, 7-10th October, 2013 (on CD).

Статията е рецензирана от проф. д-р Иванка Паскалева и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕЛЕКТРОННИТЕ НИВЕЛИРИ И СТАТИЧНИТЕ ГРАВИМЕТРИ ПРИ ИЗМЕРВАНИЯТА НА ВИСОКОТОЧНАТА НИВЕЛАЦИЯ I И II КЛАС НА РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ

Ради Радичев¹, Емил Михайлов², Атанас Кисьов¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail : radirad@mgu.bg, at.kisyov@gmail.com

² Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН, 1113 София, emil_mih@abv.bg

РЕЗЮМЕ: В публикацията е показано, че трябва да се обърне по-голямо внимание на измерванията, извършвани с електронни нивелири и щрих-кодови лати по линиите на държавната нивелация I клас. Споменава се, че съществуващият в България компаратор за еталониране на цифрови лати не е пригоден за щрих-кодови лати. Необходимо е електронните нивелири и щрих-кодови лати да се изпращат за компариране в страни, които имат интерференчни компаратори. Инструкцията по Нивелация I и II клас от 1980 г. е направена за оптични нивелири и цифрови лати, а не за електронни нивелири и щрих-кодови лати. Извършването на гравиметрични измервания по нивелачни линии може да става с наличните в България гравиметри, които могат да осигурят точност под ± 0,300 mGal на "g"при еднократна методика на измерване с контролни точки.

USE OF ELECTRONIC LEVEL GAUGES AND STATIC GRAVIMETERS WHEN MEASURING HIGH ACCURACY LEVELING CLASS I AND II OF THE REPUBLIC BULGARIA

Radi Radichev¹, Emil Mihaylov², Atanas Kisyov¹

¹ Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, radirad@mgu.bg, at.kisyov@gmail.com

² National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, BAS, 1113 Sofia, emil_mih@abv.bg

ABSTRACT: This publication shows that more attention should be paid to the measurements carried out with electronic leveling and **outline-code** battens on the lines of the state leveling I class. It is mentioned that the existing comparator in Bulgaria for calibration of digital battens is not suitable for **outline-code** battens. Electronic leveling and **outline-code** battens need to be sent to **comparation** in countries that have interference comparators. Instructions on Levelling I and II class from 1980 are made for optical leveling and digital battens, not electronic level gauges and **outline-code** battens. Performing gravimetric measurements based on leveling lines can be done with the available gravimeters in Bulgaria, which can provide accuracy within ± 0,300 mGal of "g" with a single method of measurement of control points.

1. Въведение

Бързото развитие на информационните технологии в различните отрасли на знанията през последните години засягат, както всички области така и геодезията и геофизиката. Измерването на дължини в миналото с ролетки и инварни жици се замени с радио и светлодалекомери. Мензулата и теодолитът се замениха с електронни тахиметри (Забагонский, 2012). Махалните абсолютни гравиметри се замениха с балистичните абсолютни гравиметри, а статичните гравиметри - с компютризирани гравиметри. Но все пак заради ограничената дейност на гравиметрията за геодезически, геофизични и геоложки цели, а също и заради високата цена на компютризираните гравиметри, статичните гравиметри още могат да бъдат използвани в геодезията и геофизиката. При многократни измервания с тях и по-голям брой гравиметри, точността им е много близка до точността от многократни измервания с компютризирани гравиметри (Радичев и др., 2013а). Появяването на GPS системите направи революция в теорията и практиката на геодезическите измервания. Създаването на електронните

нивелири през 90те години на миналия век спомага за навлизането на нивелацията в нова ера. Особеност при тези нивелири се явява отчитането на информацията по електронен път от кодирани лати и записването и върху вътрешната памет на нивелира, като по-късно същата се предава за по нататъшна канцеларска обработка на персонален компютър. За да се обезпечи изискваната точност и надеждност на резултатите от нивелирането, получени от измерителната система "цифров нивелир + штрих-кодова лата" е необходимо да се провежда периодичното й атестиране. Приложението на системата "оптически нивелир-лата", с използване на нивелир с визуални отчети и штрихова инварна лата, при която изследването се изпълнява отделно за нивелира и латата при системата "цифров нивелир + штрих-кодова лата" е много сложно изследването и е неприемливо. То се обуславя от това, че щрих-кодовата лата няма метрична скала сравнително нанесена с деления през 5 или 10 mm. и затова за изследването й не трябва да се използва женевската линия или стандартните оптико-механични компаратори. При процеса на отчитане с цифровия нивелир вземат участие не два съседни штриха от латата, а последователност от много штрихи с различна ширина. Да се изпълнят изследванията разделно за цифровия нивелир и щрих-кодовата лата може само в специализирана лаборатория. При този случай за изследване на цифровия нивелир е необходимо да има еталонна штрихкодова мярка, положението на штрихите, на която съответствува на теоретичните им значения. 3a изследване фактическото положение на отделните штрихи от кода само за щрих-кодовите лати и сравняването им теоретичните значения се прилагат хоризонтални интерференчни вертикални ипи компаратори (Уставич и Ямбаев, 2013). В производството голяма част от частните фирми и сдружения закупуват електронни нивелири, но няма нормативна уредба, определяща реда на работите с този тип инструменти.

2. Използване на оптичните /механични/ и на електронните нивелири при високоточна нивелация I и II клас

2.1 Оптични нивелири и цифрови лати. Методите на работа, описани в Инструкцията за нивелация I и II клас издание на ГУГКК от 1980 г. са за оптичните /механичните/ нивелири. Тези методики на измерване са ориентирани за борба с грешките, болшинството, от които в електронните /компютризирани/ нивелири отсъстват. Разбира се на резултатите започват да влияят систематичните грешки. При работа в производствени условия с електронните нивелири се получават несвръзки, допустими формално, но с преваляващо количество с един знак (Забагонский, 2012). При оптичните /механични/ нивелири имаме попросто устройство. Затова при тях не е трудно да се открият грешките от конструиране на приборите и да се отстранят чрез вкарване на поправки. При оптичните въвеждаме поправки за нивелири различие в температурата на латите при еталонирането им на компаратора и при нивелиране в полски условия, а също така поправка за средна дължина на метъра на комплекта лати от номиналния. Затова можем да кажем, че тези измервания са по достоверни. Еталонирането на оцифрованите лати в България се извършва на компаратора на НИГиФ –ЕООД.

2.2 Електронни /компютризирани/ нивелири и кодирани лати. Производителите на електронни нивелири не разкриват до край своите тайни относно точността на техните изделия, заради тяхната висока цена (Забагонский, 2012). Тези нивелири и лати се еталонират от завода производител, където се въвеждат и поправки в програмите на измерване и всичко това се държи в тайна. Затова всеки производител има своята информация за изделия, като я пази произведените в тайна Изследванията на съвременните геодезически инструменти показват, че точността на измерванията с електронните нивелири се определя, както от грешката на самия нивелир, така и от качеството на щрихите на кодовите лати (Забагонский, 2012). Или образно казано, кодът нанесен на латата трябва да може точно да съвпада със своя теоретичен модел. При отчитане с електронните нивелири върху кодовите лати взема участие последователност от много штрихи с различна дебелина. Затова традиционните методи по действащата инструкция на

ГУГКК не са валидни тук. Има два метода за проверка на високоточни штрих-кодови лати (Забагонский, 2012):

1) проверка положението на отделните штрихи в кода и тяхната ширина;

2) оценка точността на измерителната система "цифров нивелир + штрих-кодова лата" по пътя на сравняване разликите в отчетите, взети по латата с електронния нивелир, с еталонните разлики получени с помощта на лазерен интерферометър.

За тази цел се използват специални скъпоструващи хоризонтални или вертикални интерференчни компаратори. Те позволяват да се извършват измервания със средна квадратна грешка по малка от 0,01 mm. С тях се прави калибриране /еталониране/ на системата "цифров нивелир + штрих-кодова лата". На фиг.1 е даден такъв хоризонтален интерференчен компаратор. За предпочитане е да се използват вертикални компаратори, тъй като латата се намира в работно положение. Компаратори за еталониране на електронни /цифрови/ нивелири с кодови лати има в МИИГАиК /Русия/, Техническия университет Мюнхен /Германия/, Финландския геодезически институт /FIG Финландия/ и Стеиндорския център за линеен ускорител /SLAC, САЩ/ (Забагонский, 2012). Тези компаратори са уникални и с висока цена.



Фиг. 1. Външен вид на хоризонтални интерференчен компаратор за проверка на системата "цифров нивелир + штрих-кодова лата" 1 – направляващи релси на лазерния интерференчен компаратор; 2 цифров нивелир Leica DNA – 03; 3 - поставка; 4 – превоз с подаване и ъглов отражател с мишена; 5 - кодова лата Leica GPSL 3; 6 микроскоп; 7 - огледало; 8 - лазерен интерферометър модели ML 10 GOLD от фирмата RENISHAW; 9 - интерфейс набор DX 10 USB с бележник

2.3 Експерименти от извършването на измервания с електронни и оптични нивелири. Около Кремъл е създадена нивелачна мрежа I клас за следене деформациите на паметниците в един цикъл на наблюдения. Повтарянето на тези ходове в разни цикли от измерване се оказва невъзможно. Наблюденията са изпълнени с електронни нивелири Leica по нормите на Гостстрой (Федосеев, 2012). Резултатите от изчисляване на първите два цикъла на измерване са показали, че получените точности на параметрите на изравнената мрежа и намерените в по-малките полигони несвръзки съответстват на нормативните документи. Щателният анализ на резултатите от изравнение е открил, че всички несвръзки в малките полигони /с малки изключения/ имат един и същи знак, което говори за наличие на систематични грешки. Това се е потвърдило и от изчисленията на големите полигони, значенията на несвръзките, на които превишават 2-3 пъти допустимите стойности (Федосеев, 2012). Същите резултати се получават и от преизмерването на Държавната нивелачна мрежа I клас за територията на Република България. Същото преизмерване се извършва отначало от "Геопланпроект", а по-късно, съгласно Закона за Геодезията, от частни фирми закупили различни видове електронни нивелири. При всички нивелачни измервания, извършвани с електронните нивелири от 1995 до 2008 г., имаме по-големи систематични грешки, като допускът на сключване при четири полигона измерени от частните фирми е по голям от допустимия. При двата полигона VI и VII сключването е с еднакъв знак, което говори за наличието на систематични грешки. Извършените нивелачни измервания от "Геопланпроект" през предходните години с електронни нивелири също дават по-големи систематични грешки. Еталонирането на кодираните лати и изследването на електронните нивелири са извършени на компаратора на НИГиФ – ЕООД и на полигона за изследване на нивелири в кв. Павлово гр. София. Компараторът и полигонът са създадени за изследване на оцифрените лати и оптическите /механичните/ нивелири. Експерименталните измервания, извършвани от нивелаторите на "Геопланпроект" показват, че при измерване на нивелачна линия в прав ход с електронен нивелир и повторното й преизмерване в обратен ход с оптически нивелир се получават по-големи разлики от допустимите по Инструкцията за нивелация. Ако измерването на нивелачни линии, право и обратно, се извършва само с електронни нивелири или само с оптични нивелири, то разликите са допустими съгласно Инструкцията за нивелация.

3. Използване на статичните гравиметри при гравиметрични измервания по нивелачни линии I и II клас.

При изчисляване на надморските височини в Балтийска система, а сега и при преминаване във височинна система Амстердам (Ценков и др., 2011; Радичев и др., 2013б) на реперите от държавната нивелация, е необходимо към измерените стойности на превишенията да се прибавят гравиметрични поправки (поправки за непаралелност на нивоповърхнините на нормалното гравитационно поле и поправки за разлика между действителното и нормалното гравитационно поле). Обединената европейска нивелачна мрежа (UELN), в която участва и Република България беше изравнена, като окончателен резултат са получени нормални височини и геопотенциални коти (Ценков и др. 2011). Геопотенциалната кота се получава по данни от геометричната нивелация и от гравиметричните измервания по реперите. При гравиметрични измервания по нивелачни линии, най-производителна е методиката на еднократни измервания с контролни точки. Обикновено. измерванията по тази методика се извършват с два статични гравиметъра за по добър контрол на резултатите. Такива са гравиметрите от вида ГАК, ГР/К2, ГНУ-КС или ГНУ-КВ, които са на разположение в Република България. Тези гравиметри са нетермостатирани и мащабните им коефициенти зависят от температурата, атмосферното налягане и скаловите им поправки. Същите имат по-голямо изместване на нулите в сравнение с гравиметрите La Coste @ Romberg и Scintrex CG-3 и CG-5.

3.1.Изместване на нулата на употребяваните в България кварцови гравиметри. Действителното изместване нулите на гравиметрите има сложен характер и не може да бъде прогнозирано напълно. Вълнообразното изменение на нулата на гравиметрите, с време даже по малко от един час, е обусловено от процесите на поляризация на кварцовата система. Замяната на вълнообразната линия на изместване на нулевата точка с права, както се практикува в гравиметрията, е приблизително и довежда до понижаване точността на резултатите при високоточни гравиметрични снимки. Точността при еднократни наблюдения е по-ниска отколкото точността при многократни измервания за горепосочения тип гравиметри. Обикновено наблюденията с различни статични гравиметри са съпроводени с големи систематични разхождания на резултатите между тях. Понеже наблюденията с двата гравиметъра се провеждат по едно и също време и при едни и същи условия, разликите имат систематичен и случаен характер и са свързани с техническите особености на приборите и с микросеизмиката, създавана от движещите се превозни средства (Ценков и др. 2011). Разликите между приборите са обусловени и от криволинейното изместване на нулите им и от колебание на мащабните коефициенти на отчетните устройства от транспортиране на гравиметрите.

3.2. Използване на гравиметри от вида ГАК-7Т. ГР/К2. ГНУ-КВ и ГНУ-КС за гравиметрични снимки в Република България. Тези гравиметри може да се прилагат за детайлни, регионални и маршрутни /профилни/ снимки с разстояния между точките от десетки метри до 10-15 km. и повече. Средната им грешка на измерване се колебае от ± 0,030 до ± 0,060 mGal, а при гравиметър ГНУ-КВ тя е до ± 0,030 mGal (Михайлов, 1998; Михайлов и Радичев, 2011). Най-добре е еталонирането на тези гравиметри да се прави преди започване на гравиметричните измервания и след завършването им, т.е два пъти, понеже не се знае какво е състоянието на вакуума при кварцовите им системи. А както се знае липсата на вакуум в кварцовата система води до изменение на мащабния коефициент. Гравиметрираните нивелачни линии, се привързват към точките от Еталонната гравиметрична мрежа на Република България, която е привързана към базисната мрежа от абсолютни точки (UEGN 2002) (Милев и др., 2005, 2008). Преди да бъде създадена базисната мрежа от абсолютни точки. Еталонната гравиметрична мрежа беше привързана към двете абсолютно измерени точки в София и Варна с гравиметъра ГАБЛ от руски експедиции през годините 1982, 1983 и 1986 (Михайлов, 1998).

4. Изводи

От всичко казано по горе в публикацията могат да се направят следните изводи:
4.1. При измерване на държавната нивелация I и II клас от фирмите изпълнителки на тази дейност с електронни нивелири е необходимо същите да се изпратят за изследване и еталониране /компариране/ в някоя от горепосочените държави, където има интерференчни компаратори. Като пример ще посочим, че в миналото инварните жици на НИГиФ /ГУГК/ и ВТС се компарираха на компаратора на МИГАиК в Москва.

4.2. Другият вариант е преизмерването на останалата част от Държавната нивелация I клас, която е повечето в планински райони, да става с оптичните нивелири Ni 002 и Ni 007, като визурите с Ni 007 да са до 25 метра. Еталонирането /компарирането/ на латите да става на компаратора на НИГиФ – ЕООД.

4.3. Следващ вариант е резултатите от измерванията, извършени с електронни нивелири и кодови лати, да бъдат изравнявани със специално разработени за тях програми, при които да се елиминират систематичните грешки. Такива програми има разработвани в Русия, но не се знае доколко ще са достоверни резултатите след изравнение с тях.

4.4. Гравиметричните измервания по нивелачните линии в Република България може да се извършват и със статичните гравиметри, намиращи се на разположение в Република България. Същите измервания да се извършват с два гравиметъра за намаляване на систематичните грешки и по еднократна методика с контролни точки, като броят на контролните точки да е по-голям. Времетраенето на всеки гравиметричен рейс да е около 1 до максимум 2 часа. С наличните в България гравиметри е възможно постигането на точност под ± 0,300 mGal, по еднократна методика с контролни точки за g. По-добри гравиметри за тази работа има на брой 4 в МГУ "Иван Рилски", 1 в УАСГ, 1 в "Геохайт" и "ВГС" и 1 в НИГиФ – ЕООД.

Литература

Милев, Г., Д. Руес, К. Улрих, К. Василева, Л. Стоянов, Т. Вълев, Е. Михайлов, Н. Димитров. 2005. Абсолютни измервания и гравиметрична система на България. -*ГКЗ*, 5-6, 2005, 10-17.

- Милев, Г., Г. Вълев, К. Василева, Е. Михайлов. 2008. Национална гравиметрична мрежа на България – ГКЗ, № 5-6, 2008, 4-8.
- Михайлов, Е. 1998. Анализ на еталонната гравиметрична мрежа на Република България. Годишник на УАСГ, свитък III, Геодезия и земеустройство.
- Михайлов, Е, Р. Радичев. 2011. Гравиметрични измервания в България за периода 1926 до 2011 г. - Год. МГУ "Св. Иван Рилски", том 54, св.1, Геология и геофизика, 143-150.
- Радичев, Р., Е. Михайлов, Н. Кирилов. 2013а. Методика на наблюденията при профилни гравиметрични снимки по линии от Държавната нивелация на Република България. - Год. МГУ "Св. Иван Рилски", Свитък 1, Геология и геофизика, Том 56, 1, 141–144.
- Радичев, Р., Е. Михайлов, Ат. Кисьов. 2013б. Гравиметрични поправки и фактори, влияещи на високоточните измервания силата на тежестта. - Год. на МГУ "Св. Иван Рилски", Свитък 1, Геология и геофизика, Том 56, 1, 145–149.
- Забагонский, С.А. 2012. Применение електронных нивелиров при высокоточных измерениях. Минск, Белаерокосмогеодезия,

geo.by./23-application-for-electronic-levels-pre.

- Уставич, Г.А., Х. К. Ямбаев. 2013. Методика проведения внеочередной поверки системы "цифровой нивелир + штрих-кодовая рейка". - Известия ВУЗ, раздел Геодезия и аерофотосъемка, бр.6, 8–13.
- Ценков, Ц., Т. Беляшки, Е. Михайлов. 2011. Получаване на гравиметричните поправки по линии от държавната нивелация на Република България. Доклад на XI международна научна конференция ВСУ "Любен Каравелов" от 2 до 3 юни 2011, София, Том II, VI-13 VI-18.
- Федосеев Ю.Е. 2012. Применение цифровых нивелиров для высокоточных работ: теория, практика, проблемы.

ww.geodinamika.ru/_.../using_digital_level.pdf

Статията е рецензирана от проф. дгн Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА РАЗЛОМИ В СТРУМСКАТА СЕИЗМИЧНА ЗОНА ПО РЕЗУЛТАТИ ОТ ГРАВИМЕТРИЧНИ И НИВЕЛАЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ

Ради Радичев¹, Емил Михайлов²

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: От гравиметрични и нивелачни измервания, извършени през различни периоди от време, са съставени профили и карти, които много добре локализират Крупнишкия разлом в района на нивелачни репери R0, 1047, 30 и 2014. Върху профилите по-слабо се локализират Железнишкият и Градевският разломи при репери 1003, VNR 371 и 1004. На картата с остатъчните /локални/ аномалии, Крупнишкият разлом попада около отрицателната част на остатъчната аномалия или можем да кажем, че при него става смяната на знака на остатъчните аномалии. На профила с възможното изменение на плътностите на промеждутъчния слой – р, също имаме минимално отрицателно изменение на плътностите в района на разлома. Направен е анализ на резултатите от извършените гравиметрични и нивелачни измервания през различните периоди.

LOCATING FAULTS IN STRUMSKA SEISMIC ZONE BY GRAVIMETRIC AND LEVEL MEASUREMENT *Radi Radichev*¹, *Emil Mihaylov*²

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: Based on leveling and gravimetric measurements carried out during different time periods are drawn profiles and maps are drawn which very well localize the Krupnik fault in the region of level benchmark R0, 1047, 30 and 2014. Profiles localize the Jeleznishka and Gradevska faults the region of level 1003 benchmarks, VNR 371 and 1004. On the map with the cards with the remaining / local / anomalies, the Krupnik fault falls about the negative portion of the residual anomaly or we can say that it is the point where the change of sign of the residual anomalies happens. On the profile with the possible change of the density of the intermediate layer - ρ we also have minimal negative change in the densities in the region of the fault. An analysis of the results of the gravimetric and leveling measurements has been conducted over the different periods.

1. Въведение

Процесите, свързани с деформациите на земната кора във времето, е възможно да бъдат проследени днес с използването на съвременна усъвършенствана измервателна апаратура, при използването и на подходяща методика на измерване.

Основните геоструктури, които могат да бъдат определени по геофизични и геодезични методи, са разломните, някои платформени и други структури. Разломите се явяват едни от основните елементи на земната кора, определящи понякога общия структурнотектонски план на големи територии. Зоните на разломите може да се локализират и картират, чрез гравиметрична и нивелачна снимки.

Гравиметричните снимки позволяват да се решават редица геоложки задачи, доколкото в гравитационното поле се намира сумарно отражение на вътрешномантийните и вътрешнокоровите вариации на плътностите на земните маси, основните граници на разделяне, тектониката и структуроформационен строеж (Веселов, 1986; Делинджер, 1982).

Деформациите на земната кора може да се забележат и от наблюдения на вертикални движения. Методите на измерване вертикалните движения на земната кора се явяват повторното нивелиране, приливните и наклономерните наблюдения (Моги, 1988). Всеки от тези методи има своите достойнства и недостатъци. Достойнство на наклономерните наблюдения е високата чувствителност и непрекъснатост на наблюденията, а недостатък е, че наблюденията се отнасят към кратки разстояния или за отделни точки /станции/ (Моги, 1988). Приливните наблюдения се извършват на отделни станции и са възможни непрекъснати наблюдения, а недостатъкът им се състои в това, че им влияят измененията на хидрографските условия. За разлика от приливните наблюдения, нивелачните измервания се извършват през различни периоди и са с висока точност. Нивелачният метод е трудоемък и изисква повече време и средства, а също така с удължаване на нивелачните ходове, грешките се натрупват. Затова интерпретирането на резултатите при този метод трябва да става по-внимателно. Чрез извършването на високоточна нивелация през различни години е възможно да се следи за вертикалните движения на земната кора в дадения район на разлома и то на профили, които го пресичат. Опит за определяне на разломните структури от гравиметрични и нивелачни измервания е направен в района на Крупнишкия разлом.

2. Гравиметрични и нивелачни измервания и резултати от тях за района на Крупник

Задължително е при работата с гравиметри, началното и заключителното наблюдение на всеки гравиметричен рейс, да се провеждат или на една и съща точка, или на точки с известни значения на ускорението на силата на тежестта. Явилите се при това изменения в отчетите по гравиметъра се дължат на изместване на нулевата точка на прибора. Обикновено се счита, че тези изменения имат линеен във времето характер за кратки интервали от време 1 час, максимум 2 часа и се разпределят пропорционално по време на наблюдения в даден рейс.

Гравиметрични измервания в Крупнишкия район са извършени през годините 2004, 2007, 2008 и 2009 от специалисти от БАН и УАСГ с гравиметри собственост на УАСГ и Минно-геоложкия университет. Измерени са два профила: Бараково – Симитли – Крупник – гара Пирин /Кресна/ и Симитли – Градево – Предела. Броят на точките в района на Крупнишкия разлом е сгъстен плошно, като са взети измерени гравиметрични точки от Геопланпроект през 1969 г. и по-късно преизмервани от Е. Михайлов през 1988 г., така че броят на точките в района на разлома става 42. Повече подробности за измерванията и изчисленията са дадени в Mihailov et al. (2008) и Mihailov and Dimitrov (2006). На всичките гравиметрично измерени точки са изчислени аномалиите Буге и е изчертана карта аномалия Буге, дадена на фиг. 7 (Ценков и Михайлов, 2011). От нивелачни измервания, извършени от "Геопланпроект" през три различни епохи 1956, 1978 и 2000 години (Georgiev et al., 2006), са построени графики на измерените превишения на профила Бараково – Симитли – Крупник гара Пирин- /Кресна/, дадени на фиг. 1. На фигури 2 и 3 са дадени графики на аномалиите Буге, остатъчните аномалии и котите на реперите за профилите Бараково -Симитли – Крупник - гара Пирин /Кресна/ и Крупник – Градево – Предела (Mihailov et al., 2008). От гравиметричните измервания, извършени с точност под ± 0,060 mGal през годините 2004, 2007, 2008 и 2009, са изчислени средногодишните промени V за възможното изменение силата на тежестта спрямо 2004 година за профила Бараково – Симитли - Крупник- гара Пирин /Кресна/ и са изчертани графики, дадени на фиг. 4. За другия профил Крупник – Градево - Предела не са изчислявани промените V, понеже има унищожаване на нивелачните репери през различните периоди на измерване от разширяване на пътя. От разлики в котите на реперите между измерванията извършени през 1958 и 1982 години от нивелацията на профила, от черква Бараково през черква Симитли до ж.п. кантон след ж.п. гара Пирин (Бурилков и Беляшки, 1987), е построен график на разликите dH, даден на фиг. 5.

Отражението на динамиката на литосферата в района на Крупник върху гравитационното поле, нагледно се илюстрира, по материали на наблюдаване възможното изменение на силата на тежестта б∆д във времето, на Крупнишкия гравиметричен полигон, дадено на фиг. 4. В

резултат на измерване на различни точки от полигона са констатирани различни по знак и скорост възможни изменения на гравитационното поле във времето. На едни точки от полигона се наблюдава увеличаване на Δg , а на други - понижаване на *Д*g. Възможните най-големи изменения на Δg се предполага, че се дължат на някакво преместване на ядрото на Земята относно нейната кора. Някой изследователи (Огаджанов, 1998; Юркевич, 1984) казват, че вариациите /промените/ на силата на тежестта се предизвикват от процеси. изменяши 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.

Изменението на силата на тежестта се дължи на изменение на плътностите на промеждутъчния слой ρ в разглеждания район. През годините 2004, 2006 и 2007 са станали земетресения в този район, на които евентуално се дължи това изменение на плътностите ρ , както и на различното ниво на подпочвените води, подхранвани от р. Струма през различните периоди на измерване. От гравиметричните измервания, извършени през различните периоди от време, е направен опит да се проследи изменението на плътностите ρ по профила Бараково - Симитли - Крупник – гара Пирин /Кресна/ и същите са дадени на графика на фиг. 6.

3. Аномалии Буге, остатъчни аномалии и осреднени хоризонтални градиенти за Крупнишкия район

Основната цел, при измерванията и получаването на гравитационните аномалии, е откриване наличието и разпределението на земни маси с различна плътност. Общата земна маса, предизвикваща тази или друга аномалия, се подава на изчисление. Гравитационното влияние на всички аномални маси, намиращи се вътре в зададен обем, се явява сумарно и е желателно да се разделят ефектите, свързани с регионалните особености и ефектите от по-дребните структури. Това става по пътя на разделяне наблюдаваните аномалии на регионални и остатъчни /локални/ (Знаменский, 1980; Делинжър, 1982; Огаджанов, 1998). Върху картата аномалия Буге, дадена на фиг. 7, е извършено осредняване на гравитационното поле по окръжности с радиуси R=2 km., като средното значение на аномалиите се отнася за центъра на окръжността. Изчисленията са извършени за шест до десет точки от окръжността (Знаменский, 1980). Средното значение на аномалното поле е изчислено в точки, явяващи се върхове на правоъгълна мрежа през една десета от градуса. По осреднените аномалии от тази мрежа е построена картата на осреднените аномалии, дадена на фиг. 8 (Огаджанов, 1998). Изваждайки от наблюдаваните аномалии осреднените, се получават остатъчните /локалните/ аномалии, дадени на карта фиг. 9 (Знаменский, 1980). Направен е опит за разделяне на гравитационното поле по метода на осреднените

хоризонтални градиенти (Знаменский, 1980). Получава се по формула:

$$G = (\Delta gr1 - \Delta gr2) / r1 - r2, \tag{1}$$

където: $\Delta gr1$ и $\Delta gr2$ са осреднени аномалии в окръжности 1 и 2 с общ център и радиуси r1 и r2, като r1 = 2 km, а r2 = 1 km.

Средният градиент се отнася за центъра на окръжностите. На фиг. 10 е дадена картата на осреднените хоризонтални градиенти. По физически смисъл осреднените хоризонтални градиенти може да се разглеждат, като остатъчни /локални/ аномалии.

4. Анализ на резултатите

Графиките с измерените разлики в нивелачните превишения през различни години, дадени на фиг. 1, ясно локализират Крупнишкия разлом в района на нивелачни репери R0, 1047 и стенна призма 30 на пътния кантон Крупник. От графиките на фиг. 2 се вижда, че имаме рязко изменение на остатъчните /локални/ аномалии в районите на Крупнишкия и Железнишкия разломи, т.е имаме рязко чупене на графиките. Тези чупки се намират при нивелачен репер 1047 и стенна призма 30 на пътен кантон Крупник или можем да кажем. че на тези места се локализира Крупнишкият разлом, а при нивелачен репер 1003 се локализира по-слабо и Железнишкият разлом. При последното гравиметрично измерване през 2009 г. се установи, че стенна призма 30 е унищожена и е невъзможно нивелирането й. От фиг. 1 и 2 се вижда, че и нивелачните и гравиметричните измервания ясно локализират Крупнишкия разлом в района на нивелачните репери R0, 1047 и стенна призма 30 на пътния кантон. Другият край на Крупнишкия разлом се локализира от гравиметричните измервания на репер 2014 на мост по профила Симитли – Градево - Предела, даден на фиг. 3. На същия профил се локализира и Градевският разлом при Симитли. Върху графиките с вариациите в силата на тежестта, дадени на фиг. 4 за профила Бараково-Крупник-Кресна, ясно се локализират, както Крупнишкият, така и Железнишкият разломи при реперите R0 и 1047 за Крупнишкия и при репер 1003 за Железнишкия разломи. При VNR371 и 1004 се намира и Градевският разлом. Резултатите от нивелачните измервания, извършени през различни периоди, дадени на фиг. 5, също ясно локализират Крупнишкия, Железнишкия и Градевския разломи при репери R0, VNR30,1003 VNR371 и 1004. На фиг. 7, картата аномалия Буге, се забелязва опъване и сгъстяване на изоаномалиите в района на Крупнишкия разлом. Също такова опъване и сгъстяване на изоаномалиите личи и от картата с осреднените аномалии Буге, дадена на фиг. 8, която отразява влиянието на дълбоките земни маси върху аномалиите. Върху картата с остатъчните /локални/ аномалии, дадена на фиг. 9, ясно се забелязва, че разломът попада около отрицателната част на аномалията или можем да кажем, че при него имаме смяна на знака на остатъчните аномалии. Получаването им представлява голям интерес, тъй като с тях могат да бъдат свързани геологическите структури. Предполага се, че остатъчните аномалии характеризират дребните структури. Като правило, изучаваните структури са разположени в горната част на земната кора. В най-голяма степен това се отнася за изследване на по-едри структури, като големи разломи. На практика е много трудно отделянето на остатъчните аномалии, свързани с определени структури, затова те дават груба представа за ефектите, получени от една или друга структура (Веселов, 1986). При профила с изменение на плътностите р, даден на фиг. 6, също така имаме минимално отрицателно изменение на плътностите в района на разлома. Рязко изменение на плътностите о от положителна към отрицателна имаме в района между реперите VNR371 и NR 1004 (черква Симитли и гара Симитли). Това се дължи евентуално на пристрояването и разширяването на черквата до VNR371 през различните периоди на гравиметрични измервания. Там минава, както споменахме по горе, и Градевският разлом.



Фиг. 1. Разлики в измерените превишения



Фиг. 2. Графики на аномалиите Буге, остатъчните аномалии и котите на гравиметричните точки за профила Бараково – Симитли – Крупник – гара Пирин /Кресна/. Добре се маркират Крупнишкият и Железнишкият разломи, чрез остатъчните аномалии

Също такова рязко изменение на плътностите р от отрицателна към положителна имаме и в участъка от *NR7* към *NR8* (вход на тунел и подпорна стена при Кресненското ханче). Това изменение е възможно да се дължи на различното водно ниво на р. Струма по време на измерванията, която подхранва подпочвените води. И двата репера са на разстояние до 30 метра от реката. През 2004 г. измерванията се извършиха през месец април, а през 2009 г. - през октомври. Картата на осреднените хоризонтални градиенти, дадена на фиг. 10, също ясно очертава Крупнишкия разлом. Получените резултати от гравиметричните и нивелачните измервания много добре локализират Крупнишкия разлом и по слабо Железнишкия и Градевския разломи.



Фиг. 3. Графики на аномалиите Буге, остатъчните аномалии и котите на реперите на гравиметричните точки за профила Крупник – Градево - Предела. Крупнишкият разлом се маркира на мост при река Еловица, а Градевският - при Симитли



Фиг. 4. Вариации на възможните годишни промени на силата на тежестта за различните периоди на измерване. Добре се маркират Крупнишкият, Железнишкият и Градевският разломи при репери 1047, 1004, VNR371 и 1003

ч. БАРАКОВО - ж.п. КАНТОН



Фиг. 5. Разлики в котите на реперите между измерванията, извършени през 1982 и 1958 години, от черква Бараково през черква Симитли до ж.п. кантон след гара Пирин. Отчетливо се маркират Крупнишкият, Градевският и Железвишкият разломи





Фиг. 6. Изменение плътността на промеждутъчния слой р в g/sm³ по профила Бараково - Симитли - Крупник – гара Пирин /Кресна/. Добре се маркират Крупнишкият и Гродевският разломи



Фиг. 7. Карта аномалия Буге при плътност на промеждутъчния слой 2,67 g/cm³ и сечение ±2 mGal, в гравиметрична система IGSN-71 и нормална сила на тежестта (1980 г.)



Фиг. 8. Карта на осреднените аномалии Буге в mGal. Сечение на изоаномалиите ± 2 mGal



Фиг. 9. Карта на остатъчните аномалии Буге в mGal. Сечение на изоаномалиите $\pm 1\,\text{mGal}$



Фиг. 10. Карта на осреднените хоризонтални градиенти на Крупнишкия разлом в mGal/km

Литература

- Бурилков, Т., Т. Беляшки. 1987. Таблици на разлики във височините на НР I клас между епохи 1982 г. и 1958 г., НИГиФ, София.
- Веселов, К.Е. 1986. Гравиметрическая съемка. М., Недра 262-264с.
- Делинджер, П. 1982. *Морская гравиметрия*. М., Недра, 181-183 с.
- Моги, К. 1988. Предсказание земетресений, М., Мир, 52-53 с.

- Знаменский В.В. 1980. Полевая геофизика. М., Недра, 47-50 с.
- Огаджанов, В.А. 1998. Концепция геофизических изследования, основанная на явлении дилатации горных пород. *Геофизика*, 4, 10-13.
- Ценков, Ц., Е. Михайлов. 2011. Анализ на резултати от гравиметрични измервания в района на Крупнишкия разлом. - Сборник с резюмета на Първата международна научна конференция "Образование, наука, иновации" ESI-2011, 9-10 юни, Перник, стр.32.
- Юркевич, О. И. 1984. Определение времени подготовки землетресений по медленым движениям поверхности земли – *Геодезия картография аерофотосъемка*, Львов, бр. 39, 101–109.
- Georgiev, I., D. Dimitrov, L. Pashova, E. Botev, S. Shanov, G. Nikolov, K. Matev. 2006. Results from geodynamic studies in the Krupnik-Kresna region for the period 2002-2005. -*GEOSCIENCES*, 366-369.
- Mihailov, E., D. Dimitrov. 2006. Results from Gravimetric Measurements in the Region around the Krupnik fault, South-western Bulgaria. *Geodesy*, 17, 108-114.
- Mihailov, E., I. Radev, G. Marinov, D. Georgiev, M. Ilieva, K. Matev. 2008. Gravimetric measurements in the region of the Krupnic faultand analysis of their results. – *Geodesy*, 21, 147-151.

Статията е рецензирана от проф. дгн Петър Ставрев и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика".

РЕГИОНАЛЕН 3D МОДЕЛ НА ХИДРОГЕОЛОЖКИТЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНА НА МИНИ "ПЕРНИК" СЛЕД ПРЕКРАТЯВАНЕ НА ПОДЗЕМНИЯ ВЪГЛЕДОБИВ

Николай Тонев Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Посредством регионален математически тримерен (3D) модел са симулирани (представени) условията за формиране и движение на подземните води в района на мини "Перник" след прекратяване на подземния въгледобив. При неговото разработване е използвана компютърната програма Modflow. Моделът отчита природните и техногенните фактори, довели до съвременното състояние и с доминиращо значение за динамиката на хидрогеоложките процеси в дългосрочен план. Акцентът на моделните изследвания е към по-обстоен анализ на силно променената и твърде усложнена от въгледобива среда, на фона на несложните естествени хидрогеоложки условия в Пернишката котловина. Получените резултати са сериозна основа за разработване на локални модели за оценка на количествените характеристики на водния баланс, структурата на подземния поток и динамиката на водните нива в засегнаните от минната дейност части на територията на гр. Перник.

REGIONAL 3D MODEL OF THE HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS IN THE PERNIK MINES AREA AFTER TERMINATION OF UNDERGROUND COAL MINING

Nikolay Tonev Stoyanov

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

ABSTRACT. The conditions for the formation and the movement of groundwater in the Pernik mines area after termination of underground coal mining are simulated by a regional mathematical three-dimensional (3D) model. It is development using the computer program Modflow. The model takes into account the natural and technogenic factors that led to the current state and that have dominant influence over the dynamics of the long term hydrogeological processes. The focus of the research is to perform a detailed analysis of the highly altered and complicated groundware flow conditions as result of the coal mining environment as compared to the relatively simple natural hydrogeological conditions in the Pernik Valley. The obtained results are a solid basis for the development of local models aimed towards estimating the water balance quantitative characteristics, the groundwater flow structure, and the water levels dynamics in the affected by the coal mining areas in the city of Pernik.

Въведение

Въгледобивът в Пернишкия въглищен басейн води началото си от 1891 г. Добивните дейности са изпълнявани по открит и подземен способ на площ 260 km². В резултат на продължилия 120 г. въгледобив в района са настъпили значителни промени в геотехническите и хидрогеоложките условия. Най-големи са промените в участъците с подземен добив, заемащи площ 49 km². В обхвата на тази територия попада една значителна част от гр. Перник.

Многогодишният въгледобив е причина за значими изменения в състоянието и филтрационните свойства на подповърхностното пространство и до създаване на зони с висока проницаемост и голяма водообилност. Същевременно, след спиране на водоотливните системи в рудниците се наблюдава бързо покачване на нивата на подземните води и водопроявления в различни зони на повърхността. Това е довело до оводняване на приземни етажи на жилищни сгради и замочурявания на терена в три пернишки квартала – кв. Байкушева махала, кв. Драгановец и кв. Рудничар (фиг. 2 и фиг. 4). Главна цел на съставения регионален математически 3D модел е да симулира условията за формиране и движение на подземните води в района гр. Перник, при отчитане на природните и техногенните фактори довели до съвременното състояние и с доминиращо значение за развитието на хидрогеоложките процеси в дългосрочен план. Акцентът на моделните изследвания е към пообстоен анализ на силно променената и твърде усложнена от въгледобива среда, на фона на несложните естествени хидрогеоложки условия в Пернишката котловина.

С регионалния модел се търсят отговорите и на редица важни въпроси относно водния баланс, структурата на подземния поток и динамиката на водните нива в засегнаните от минната дейност квартали след прекратяване на рудничния водоотлив. Същевременно, получените резултати са добра основа за дефиниране на началните и граничните условия при съставянето на локални прогнозни 3D модели за всеки квартал.

Регионалният 3D модел е съставен посредством компютърна програма Modflow (McDonald and Harbaugh 1988; Harbaugh et. all. 2000, и много други). Приетите в модела концепция и входни данни са базирани на непуб-

ликувани резултати от детайлни изследвания за изготвяне на геомеханична и хидрогеоложка оценка на найзастрашените обекти на повърхността от прекратените подземни минни дейности към "Мини Перник" ЕАД (Митков и др. 2013). Използвана е и обобщена информация за геоложките, минно-техническите и хидрогеоложките условия (по непубликувани фондови материали от архива на МОСВ, "Мини Перник" и община Перник).

Концептуална схема

При разработване на регионалния 3D модел се използва следната концепция за хидрогеоложките условия в района гр. Перник и прилежащите му територии:

Изследван район. Заема значителни части от Пернишката грабенова структура, локализирани между р. Струма и планинските оградни склонове на Витоша и Люлин (фиг. 1).



Фиг. 1. Граници на моделна област



Фиг. 2. Хидрогеоложка карта на изследвания район. Моделна област

Моделна област

- Латерално обхваща площ от 101,8 km². Оградните планински масиви, повърхностните вододели и развитата речна мрежа са главни маркери, определящи естествените граници на модела (фиг. 1 и фиг. 2).
- Вертикално моделът включва хидрогеоложки единици, установени в горната част на терциерния разрез (до 100-

150 m). Изборът е мотивиран от два важни факта: (1) подземният въгледобив е развиван до дълбочина 60-70 m (рядко до 90 m), респ. в тези рамки са формирани и силнопроводящите и с голям капацитет техногенни зони; (2) под тази граница палеогенският седиментен комплекс е здрав, плътен и много слабо водопропусклив.



Фиг. 3. Тримерен модел на отработените при подземния добив части на въглищни пластове А, В, D1 и D2 (релеф на долнищата)

Хидрогеоложки единици. Основните хидрогеоложки единици в моделната област са:

- Кватернерен водоносен комплекс Q_{стих}. Обхваща незначителни площи в южната и западната периферия на модела. Представен е от деснобрежните алувиални тераси на р.Струма и р.Рударица и левобрежните тераси на р.Конска и р.Мещичка.
- Неогенски неводоносен комплекс N_{сттх}. Разкрива се като петна в издигнатите западни участъци на района. Разглежда се като съставна част от зоната на аерация.
- Палеогенски слабоводоносен комплекс (в естествено състояние) - Рдстх. Изгражда около 95 % от моделната област, т.е. изпълнява ролята на матрица, в която са вместени останалите хидрогеоложки единици. Това обстоятелство наред с ниската проницаемост на палеогенските седименти е причина за частично капсулиране на водоносните комплекси и зони, както и за забавения водообмен в регионален план.
- Палеогенски водоносен комплекс (в нарушено състояние) – (Anthrcmx). Този комплекс е продукт на продължилия над 100 г. открит и подземен въгледобив. На практика е най-водообилната структура, която създава и основните проблеми с подземните води. Характеризира се с изключително сложна геометрия, много силна хетерогенност и изразена анизотропия на средата, която и в момента търпи промени. Анализът на геоложката и минно-техническа информация за обхвата и хидравличната свързаност на отработените въглищни пластове (A, B, D1 и D2) и на засегнатите от механични деформации вместващи скали дават основание в състава на нарушения палеогенски комплекс да се отделят четири антропогенни хидрогеоложки единици:
 - Горен комплекс (Anthr_{cmx-up}). Формиран е в нарушените при открития добив части от палеогенския въгленосен комплекс и изградените върху тях табани с "откривка". Обхваща откритите рудници и разреза до дълбочина 5-10 m и повече.

- Среден комплекс (Anthr_{cmx-m}). Обединява естествено свързаните отработени пространства (подземни рудници, обрушени зони, напукани зони и целици) на въглищни пластове D1 и D2.
- Разделящ комплекс (Anthrcmx-d). Обхваща частично нарушените мергели и мергелни глини от т.нар. "междупластие" между въглищни пластове В и D1.
- Долен комплекс (Anthr_{cmx-l}). Включва отработените пространства (подземни рудници, обрушени зони, напукани зони и целици) на по-дълбоко залягащите, но близко разположени въглищни пластове А и В.

За улесняване и прецизиране на тримерната симулация в регионалния модел е съставен числен модел на долнищата на отработените части на въглищни пластове А, В, D1 и D2 (фиг. 3).

Филтрационни свойства. Познанието за филтрационите характеристики на детерминираните в модела хидрогеоложки единици е обективно ограничено поради:

- Специфика на филтрационната среда. Подземните води се движат в (а) слабопропусклива до практически непроницаема, силно хетерогенна и анизотропна среда, изграждаща матрикса на моделираната хидрогеоложка система; (б) кухини с големи размери и нарушени високопроводящи зони, различни направления и сложни пространствени връзки помежду им.
- Локален характер на проведените филтрационни тестове. Те са съсредоточени в засегнатите квартали, чиято територия съставлява не повече от 5-6% от площа на моделната област.
- Отсъствие на архивна информация за хидрогеоложките условия в регионален план. Този факт е напълно обясним предвид практическата неводоносност на седиментите, запълващи Пернишкия грабен.

Таблица 1.

Хидрогеоложка единица					
Индекс	Моделен пласт	Моделна зона	k, m/d	μ, -	
	Кватернерен	водоносен	комплекс		
Qcmx	ML-1	MZ-1.1	20.0	0.05	
	Неогенски не	еводоносен і	комплекс		
N _{cmx}	ML-1	MZ-1.2	0.05	0.01	
П	алеогенски сл	абоводонос	ен комплекс		
	ML-1	MZ-1.3	0.03	0.005	
	ML-2	MZ-2.1	0.03	0.005	
Pg _{cmx}	ML-3	MZ-3.1	0.03	0.005	
	ML-4	MZ-4.1	0.03	0.0005	
	ML-5	MZ-5.1	0.01	0.0001	
Горен антропогенен комплекс					
Anthr _{cmx-up}	ML-1	MZ-1.4	0.041	0.01	
	Среден ант	ропогенен ко	омплекс		
Anthr _{cmx-m}	ML-2	MZ-2.2	0.24	0.03	
	Разделящ ан	тропогенен	комплекс		
Anthr _{cmx-d}	ML-3	MZ-3.2	0.034	0.005	
	Долен антр	опогенен ко	мплекс		
Anthr _{cmx-I}	ML-4	MZ-4.2	0.15	0.02	

Характеристики на моделните пластове и зони

След внимателен анализ на наличните данни за литоложките и физичните характеристики на геоложката

среда и на резултатите от филтрационните опити (Митков и др. 2013), за коефициента на филтрация (k) и водоотдаването (µ) на детерминираните хидрогеоложки единици са приети средните стойности, посочени в табл. 1. Те са ползвани като начални при характеризирането на моделните пластове и зони в регионалния 3D модел.

Разпределение на хидравличните напори. Генералната посока на подземния поток е от оградните планински масиви (Витоша и Люлин) към р.Струма и нейните притоци. Структурата на регионалния поток се деформира в района на антропогенните комплекси, които изпълняват ролята на голяма дренажна система спрямо Палеогенския ненарушен комплекс. Тази теза се потвърждава от пиезометричната карта, съставена по данни от измерените към месец април 2013г. нива на подземните води и водните стоежи в реките и повърхностните водоеми (фиг. 4).



Фиг. 4. Пиезометрична карта към март 2013 г.

Граници на моделна област. Моделната област е дефинирана като относително самостоятелна хидрогеоложка система с много отчетливи и хидравлично детерминирани пространствени граници:

- Отгоре. На терена (по горнището на модела) се очертават три зони с различно инфилтрационно подхранване и няколко вътрешни за моделната област реки и водоеми и (фиг. 5). В модела се задават с гранични условия Recharge (площна инфилтрация), с River (гранично условие от III род) или Specified Head (гранично условие от I род). Зоните с различна инфилтрация са очертани въз основа на литоложки и зърнометрични особености на разкривашите се на терена хидрогеоложки комплекси. Стойностите на скоростта на инфилтрация (W) за всяка зона са изчислени като функция на средногодишната сума на валежите за станция Перник и на литоложките характерики. Детерминираните по този начин зони са: Зона 1. Включва разкрития на Палеогенския ненарушен слабоводоносен комплекс и Неогенския неводоносен комплекс. Скоростта на инфилтрация е ниска – W₁ = 3.5E-5 m/d, което представлява около 2% от валежа. Зона 2. Обхваща засегнатите от открития и подземния въгледобив площи, а W е малко по-висока – W₂ = 5E-5 m/d (около 3% от валежа). Зона 3. Попада в границите алувиалните речни тераси, скоростта на на инфилтрация е доста висока – W₃ = 1.25E-4 m/d, т.е. инфилтрационното подхранване е 7.5% от валежите.
- <u>Отдолу</u> (по долнището на модела) границата е непроницаема, респ. граница с нулев разход (q = 0).
- <u>Латерални граници</u> според физическата им същност са няколко типа: реки, подземен поток от/към съседни

регионален водоносни комплекси, поток ипи непроницаеми граници. В зависимост от своето пространствено разположение латералните граници биват приповърхностни (видими и лесно определими) и дълбочинни (предполагаеми). Приповърхностните граници се задават в първия моделен пласт, а дълбочинните в отдолулежащите моделни пластове. По-конкретно, дефинираната моделна област е оконтурена със следните приповърхностни латерални граници (вж. фиг. 5): север – граница със зададен поток (Specified Flow) от Горнокредния слабоводоносен комплекс; североизток граница със зададен регионален поток (GHB) по вододела между реките Бученишка и Люлинска; изтокюгоизток – р. Голобречка; юг – р. Струма и р. Рударица; запад – р. Конска и р. Мещичка; северозапад – непроницаема граница (по токова линия). По-дълбоко залягащите части на моделната област са оконтурени със следните латерални (дълбочинни) граници (фиг. 6): север - граница със зададен поток (Specified Flow) от Горнокредния слабоводоносен комплекс; североизток граница със зададен регионален поток (GHB) по вододела между реките Бученишка и Люлинска; изтокюгоизток – граница със зададен поток (GHB) от Горнокредния слабоводоносен комплекс; юг-запад граница със зададен регионален поток (GHB), симулираща дрениращия се извън границите на моделната област подземен поток; северозапад непроницаема граница (по токова линия).



Фиг. 5. Гранични условия в моделен пласт ML-1



Фиг. 6. Гранични условия в моделни пластове ML-2, ML-3, ML-4 и ML-5

Хидравлични връзки. Основно допускане е, че взаимодействието между по-водообилните алувиални тераси и антропогенни комплекси се реализира през вместващия ги ненарушен и много слабо проницаем палеогенски комплекс (матрикса на моделираната хидрогеоложка система). Нивото на подземните води във всеки комплекс ще се влияе главно от постъпилите в него водни количества (от инфилтрация или от ненарушения комплекс) и от дренирането му по естествен път или посредством водопонизителни съоръжения (гравитачно или с помпи). Реакцията в другите водоносни комплекси ще е забавена или ще липсва.

Композиране на регионалния 3D модел

Тримерната рамка на регионалния модел, е композирана при следните положения и входни параметри:

- Използвани са компютърната програма Modflow и постановките, изложени в концептуалната схема.
- Пространствената дискретизация на моделната област е направена посредством равномерна ортогонална мрежа, съдържаща 5 моделни пласта – ML-1, ML-2, ML-3, ML-4 и ML-5. В първите четири пласта са детерминирани 10 моделни зони. Границите на моделните пластове и зони са дадени на фиг. 7 и фиг. 8.
- Релефът и хипсометричните нива на ограничителните повърхнини (т.нар. долнища и горнища) на моделните пластове и зони са съобразени с морфологичните особености на терена и пространствените форми на хидрогеоложките единици (фиг.7). Земната повърхност е зададена като горнище на ML-1 (фиг. 1 и фиг. 7).
- В моделните пластове и зони филтрационните характеристики (k и µ) са зададени съобразно дадените в табл. 1 стойности. За коефициента на филтрация е прието съотношение k_x = k_y = 10k_z.
- Регионалният поток е моделиран със задаване на гранично условие GHB по част от външните граници. В граничните клетки е прието, че напорът е равен на зададения начален напор. Проводимостта по границата е изчислена съобразно дебелината на моделния пласт и коефициента на филтрация в пласта или зоната, в която попада съответната моделна клетка.
- Реките Струма, Конска, Рударица и другите по-малки реки в района са симулирани като тримерни обекти със съответната геометрия и хидравлични характеристики. Зададени са в моделен пласт ML-1 с гранично условие от III род (River) – фиг. 5.
- Повърхностните водоеми са зададени с гранично условие от I-ви род (Specified Head).
- Водните стоежи в реките и повърхностните водоеми са зададени въз основа на събраната архивна информация, допълнена и осъвременена с направеното детайлно хидрогеоложко проучване през април 2013г. (Митков и др. 2013). Приетите начални стойности са коригирани впоследствие при калибрирането на модела.
- Подхранването от горнокредния слабоводоносен комплекс е зададено по северната граница на моделната област с гранично условие от II род (Specified Flow) – фиг. 5. По границата е приет постоянен разход на подземния поток q = 0,3 (I/s)/km. Тази начална стойност също се коригира в хода на калибрационните процедури.
- Инфилтрационното подхранване е зададено във всички клетки на първия моделен пласт с гранично условие подхранване (Recharge). Приетите в модела граници на трите зони с различна възможност за инфилтрация и зададените в тях начални стойности за скоростта на инфилтрация са представени на фиг. 5.
- За калибриране на модела са използвани данни за нивата на подземните води, измерени по време на детайлното проучване през 2013 г., както и съставената пиезометрична карта (фиг. 4).



Фиг. 7. Пространствена 3D дискретизация на моделната област



Фиг. 8. Моделни зони в пластове ML-1, ML-2, ML-3 и ML-4

Моделни решения

Структура на филтрационното поле. Определената с регионалния 3D модел структура на филтрационното поле е илюстрирана с пиезометрични карти, представяши разпределението на хидравличните напори (водните нива) в петте моделни пласта (фиг. 9 - фиг. 13). Полученото добро съответствие между фактическата и моделната пиезометрия е свидетелство за устойчивостта и достатъчната надеждност на модела.

Въз основа на получените моделни решения може да се направи следния коментар:

- Генералната посока на поток е от главните подхранващи провинции Люлин планина и Витоша към р. Струма.
- Пиезометричната картина, особено в приповърхностната част на многоетажния водоносен коплекс (моделен пласт ML-1) – фиг. 9, е силно усложнена в резултат на активния водообмен между подземните води от една страна и реките и повърхностните водоеми (основно откритите рудници) от друга.
- В обхвата на планинските склонове и хълмистите територии хидравличните градиенти са много високи и следват наклона на терена. На различни хипсометрични нива съществуват водоносни пластове и зони, които са несвързани или с много слаба хидравлична връзка по между си. Част от тях се дренират по склоновете, в ниските части на деретата или в речната мрежа под формата на разсеяни извори (рядко концентрирани) с незначителен дебит (около и под 0,01 l/s).
- В равнинните участъци и в дълбочина (особено в моделни пластове ML-4 и ML-5) пиезометричните линии са изгладени, без резки преходи и с относително пониски хидравлични градиенти – фиг. 12 и фиг. 13.
- Забележими деформации в структурата на филтрационното поле се наблюдават в района на подземните минни изработки, които се характеризират с един и повече порядъка по-висока проводимост от вместващата ги естествена геоложка среда и изпълняват функцията на регионален дренаж със сложна пространствена форма.

Регионален воден баланс. Съставеният с математическия 3D модел регионален (общ) воден баланс за цялата площ на моделната област е представен в табл. 2. Представените резултати от направената количе-ствената оценка на балансовите елементи в условията на стабилизиран режим на филтрация дават основание да се направят следните по-важни обобщения и изводи:

- Сумарното количество подземни води, циркулиращи във водоносните комплекси в рамките на изследвания район на площ 102 km² и до дълбочина 150-200 m, са в размер на 280 l/s.
- Основното подхранване (над 67%) е от формирания в оградните планини горнокреден слабоводоносен комплекс (около 36 %) и от водещите началото си от Люлин и Витоша реки и повърхностни потоци (около 31%). Други 18 % постъпват чрез инфилтрация на падналите валежи. Около 10 % от подхранването е за сметка на привлечени води от повърхностните водоеми, а останалите 5 % постъпват от р. Струма.
- Дренирането на подземните води (около 70 % от общия регионален разход) се реализира в равни части към съседни на разглеждания район хидрогеоложки единици и в речно-овражната мрежа посредством разсеяни или относително концентрирани естествени изходища. Останалите 30 % от регионалния разход, също в относително равни части, изтича към р. Струма и в откритите водоеми (предимно в действащите открити рудници).



Фиг. 9. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-1 (приповърхностна зона – глини и напукани мергели)



Фиг. 10. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-2 (пласт D1, пласт D2 и обрушените над тях зони)



Фиг. 11. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-3 (междупластие между D1 и B)



Фиг. 12. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-4 (пласт А, пласт В и обрушените над тях зони)



Фиг 13. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-5 (незасегната от минната дейност част от палеогенския комплекс)

Локален воден баланс. С регионалния модел е съставен локален воден баланс за водосборната област на засегнатите от минната дейност квартали (табл. 3). Площта на

Таблица 2.

Регионален (общ) воден баланс в границите на модела

Приходни елементи (източници на подхранване) Q ⁱⁿ I/s		Разходни елементи (зони на дрениране) Q;out I/s	
Горнокреден слабоводоносен к-с	102,25	Съседни хидрогео- ложки единици	98,21
Река Струма	14,39	Река Струма	43,94
Други реки, дерета	86,87	Други реки, дерета	96,72
Външни части на Палеогенския к-с	26,30	Външни части на Палеогенския к-с	41,34
Открити водоеми	50,44	Открити водоеми	
Инфилтрация	280,25		280,21
Общо	102,25	Общо	98,21
Балансова грешка 0,02 %	(difference)	

Таблица 3.

Локален во	ден баланс във	водосбора на н	сварталите

Приходни елементи (източни-		Разходни елементи (зони на		
ци на подхранване),	Qi , I/S	дрениране), Qiea	, 1/S	
Горнокреден	C 05	Съседни хидрогео-	10.00	
слабоводоносен к-с	6,95	ложки единици	10,29	
Река Струма	1,48	Река Струма	7,81	
Други реки, дерета	8,60	Други реки, дерета	12,23	
Външни части на	10 56	Външни части на	0.07	
Палеогенския к-с	10,50	Палеогенския к-с	9,97	
Открити водоеми	10,58	Открити водоеми	10,50	
Инфилтрация	13,76			
Общо	51,93	Общо	51,80	
Балансова грешка 0,25 % (difference)				

този водосбор, съвпадащ отчасти с водосбора на р. Дивотинска, е 29 km² (фиг. 4). Анализът на представените резултати показва, че:

- Подземният водообмен във водосборната област на трите квартала до дълбочина 100-150 m е около 58 l/s.
- Основното подхранване е от инфилтрация (27 %) от откритите водоеми (20 %), от външни за водосбора части на Палеогенския въгленосен комплекс (също около 20 %), от р. Дивотинска и нейните притоци (17 %), от горнокредния слабоводоносен комплекс (около 13 %). Незначително количество (3 %) постъпва и от р. Струма.
- Дренирането на подземния поток се осъществява в почти равни части към р. Дивотинска, нейните притоци, дерета и извори (24 %); открити водоеми (22 %); съседни водоносни хоризонти (20 %), външни за водосбора части на въгленосния комплекс (19 %) и р. Струма (15 %).

Литература

- Митков, В. (р-л проект). 2013. Изготвяне на геомеханична и хидрогеоложка оценки на най-застрашените обекти на повърхността от прекратените подземни минни дейности към "Мини Перник" ЕАД (л). Докл. на ДЗЗД "Видекс-Геотехника, Фонд "Мини Перник" ЕАД (л).
- McDonald, J.M., A.W. Harbaugh. 1988. A modular threedimensional finite-difference flow model. - *Techniques of Water Resources Investigations of the USGS*, Book 6. 586.
- Harbaugh, A., E. Banta, M. Hill, M. McDonald. 2000. Modflow-2000, The USGS modular groundwater model – user guide to modularization concepts and the groundwater flow process. - Open-File Report 00-92, USGS, VA, 130.

Статията е рецензирана от проф. дгн Михаил Гълъбов и препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".

ПРОГНОЗИРАНЕ НА ВЪЗМОЖНОТО ПОКАЧВАНЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ ВОДИ В ЗАСЕГНАТИТЕ ОТ МИННАТА ДЕЙНОСТ КВАРТАЛИ НА ГРАД ПЕРНИК

Николай Тонев Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Съставени са един основен и два прогнозни локални 3D модела за оценка на съвременното състояние и възможните промени в структурата на подземния поток в засегнатите от минната дейност квартали на гр. Перник. Моделите са разработени с компютърна програма Modflow, при отчитане на резултатите от предхождащи регионални моделни изследвания и на конкретните хидрогеоложки и минно-технологични условия. Основният локален 3D модел детерминира пространственото разпределение на пиезометричните напори (нивата на подземните води) и определя количествено приходните и разходните елементи на водния баланс след прекратяване на подземния въгледобив. С двата прогнозни модела са правени изчисления за очакваното покачване на подземните води и възможните промени във водния баланс след прекратяване на открития водоотлив и в условията на средни и максимални стойности на инфилтрационното подхранване.

FORECASTING A POSSIBLE GROUNDWATER RISE IN THE AFFECTED BY THE COAL MINING AREAS IN THE CITY OF PERNIK

Nikolay Tonev Stoyanov

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

ABSTRACT. One basecase and two predicitive local 3D models are developed in order to assess the current state and the possible future changes in the groundwater flow structure in the areas affected by the coal mining near the city of Pernik. The models are developed using the computer program Modflow and taking into account the results of prior regional modeling studies and the site specific hydrogeological and mining-technological conditions. The basecase local 3D model determines the spatial distribution of the piezometric hydraulic heads (groundwater levels) and estimates quantitatively the inflow and runoff elements of the water balance after termination of the underground coal mining. The two predictive models are used for performing calculations for the expected rise in groundwater and the possible changes in water balance after termination of the open draining and for the conditions of average and maximum values for the infiltration recharge.

Въведение

За изясняване на съвременното състояние и възможните промени на нивата на подземните води след спиране на рудничния водоотлив в засегнатите от минната дейност части на гр. Перник са съставени локални хидрогеоложки 3D модели за района на кв. Байкушева махала, кв. Драгановец и кв. Рудничар. С получените моделни решения за всеки квартал е направена оценка на структурата на филтрационното поле след прекратяване на подземния въгледобив и прогноза за покачването на подземните води и промените във водния баланс след прекратяване на открития въгледобив и в условията на интезивна инфилтрация на атмосферни валежи.

Посредством компютърна програма Modflow (McDonald and Harbaugh 1988, и много други) са разработени един основен и два прогнозни хидрогеоложки 3D модела за територията на трите квартала и голяма част от нейния водосбор. Зададените в тях начални и гранични условия са базирани на разработения от автора "Регионален 3D модел на хидрогеоложките условия за района мини "Перник" след спиране на подземния въгледобив" (Стоянов 2014). Използвани са също непубликувани резултати от детайлни изследвания за изготвяне на геомеханична и хидрогеоложка оценка на най-застрашените обекти на повърхността от прекратените подземни минни дейности към "Мини Перник" ЕАД (Митков и др., 2013), както непубликувани фондови материали от архива на МОСВ, "Мини Перник" и община Перник.

Основен хидрогеоложки 3D модел

Концептуална схема. Основният 3D модел използва следната обща концепция за хидрогеоложките условия на трите квартала и прилежащите им територии:

Изследваният район заема част от формираните в терциерните седименти водоносни комплекси, локализирани в южната половина на водосбора на р. Дивотинска между р. Струма и откритите рудници (фиг. 1). Моделната област е на площ от 8,2 km². В план контурите на основния модел естествено са очертани по повърхностните вододели, р. Струма и границите на откритите рудници. В разрез са обхванати всички хидрогеоложки единици до дълбочина 100-150 m.

Разрезът включва следните хидрогеоложки единици:





- Кватернерен водоносен комплекс Q_{стх}. Формиран е в алувиалната тераса на р. Струма и се разполага по южната периферия на моделната област.
- Палеогенски слабоводоносен комплекс (в естествено състояние) Рдстих. Развит е в тясна ивица (целик) между антропогенните комплекси и терасата на р. Струма (фиг. 1). Заляга повсеместно под отработените въглищни пластове. Тук палеогенските ненарушени седименти се характеризират с много слаба водопропускливост, което предпоставя много слаб водообмен (или отсъствие на такъв) с отгорележащите водоносни комплекси.
- Горен антропогенен комплекс Anthr_{cmx-up}. Формиран е в нарушените при открития добив части на въгленосния комплекс и изградените върху тях табани с "откривка".
- Среден антропогенен комплекс Anthr_{стих-т}. Обединява отработени пространства на въглищни пластове D1 и D2 (подземни рудници, обрушени и напукани зони, целици).
- Разделящ антропогенен комплекс Anthr_{cmx-d}. Изграден от мергели и мергелни глини от т.нар. "междупластие" между въглищни пластове В и D1.
- Долен антропогенен комплекс Anthr_{стих-1}. Заема отработените пространства (подземни рудници, обрушени и напукани зони, целици) на по-дълбоко залягащите въглищни пластове А и В.

Площните разкрития на антропогенните комплекси са представени на фиг. 2, а техните сложни пространствени форми и взаимоотношения, които са имплементирани в основния локален 3D модел, са илюстрирани на фиг. 4.

Филтрационните параметри (коефициент на филтрация k и водоотдаване µ) на дефинираните по-горе единици са определени по данни от проведено в района на трите квартала детайлно хидрогеоложко проучване (Митков и др. 2013). Дадените в табл. 1 стойности, които се припокриват със зададените в регионалния 3D модел, са използвани като начални стойности и за моделните пластове и зони в основния локален 3D модел.

Пиезометрична карта по установените водни нива в мо-

ниторинговите сондажи и пунктове към април 2013 г. (фиг. 2) илюстрира структурата на филтрационното поле в района на кварталите Байкушева махала, Драгановец и Рудничар. Накратко, генералната посока е към р. Струма, като на този фон в различни участъци структурата на подземния поток е деформирана в резултат на частично дрениране на подземни води в р. Дивотинска или вследствие на високата проводимост в района на подземните минни изработки. Хидродинамичните връзки между водообилните антропогенни комплекси и тераса на р. Струма е опосредствено през вместващия ги ненарушен и много слабо проницаем палеогенски комплекс.

Таблица 1.

Хидрогеоложка единица					
Индекс	Моделен	Моделна	k m/d		
индекс	пласт	зона	K, III/U	μ,	
	Кватернерен	водоносен н	комплекс		
Qcmx	ML-1	MZ-1.1	20.0	0.05	
Палеогенски слабоводоносен комплекс					
	ML-1	MZ-1.3			
	ML-2	MZ-2.1	0.03	0.005	
Pg _{cmx}	ML-3	MZ-3.1			
-	ML-4	MZ-4.1	0.03	0.0005	
	ML-5	MZ-5.1	0.01	0.0001	
Горен антропогенен комплекс					
Anthr _{cmx-up}	ML-1	MZ-1.2	0.041	0.01	
Среден антропогенен комплекс					
Anthr	ML-1	MZ-1.4	0.24	0.02	
Anuni cmx-m	ML-2	MZ-2.2	0.24	0.05	
	Разделящ ан	тропогенен і	комплекс		
Anthr _{cmx-d}	ML-3	MZ-3.2	0.034	0.005	
	Долен антр	опогенен ко	мплекс		
	ML-1	MZ-1.5			
Anthr	ML-2	MZ-2.3	0.15	0.02	
A I II II cmx-	ML-3	MZ-3.3	0.15	0.02	
	ML-4	MZ-4.2			



Фиг. 2. Пиезометрична карта към март 2013 г.

Границите на моделната област са следните:

По горнището на модела (земната повърхност) граничните условия се дефинират с 4 зони с различно инфилтрационно подхранване и вътрешната за модела р. Дивотинска. Скоростта на инфилтрация (W) за всяка зона е определена съобразно средногодишната сума на валежите за гр. Перник и литоложките характеристики на приповърхностния слой. Четирите зони са както следва: зона MZ-W1 - тераса на р. Струма (W₁ = 1.25E-4 m/d); зона MZ-W2 - повърхностни разкрития на палеогенския ненарушен комплекс (W₂ = 3,5E-5 m/d); зона MZ-W3 -

засегнати от въгледобива площи (W₃ = 5E-5 m/d); зона MZ-W4 - разкриващи се на повърхността части от въглищни пластове (W₄ = 1.0E-4 m/d) – фиг. 3.

- По долнището на модела границата е непроницаема.
- Латерални приповърхностни граници (в моделен пласт ML-1): север – граница със зададен поток (по приета от регионалния модел еквипотенциална линия); изток – непроницаема граница (по токова линия); юг – р. Струма; запад – граница със зададен поток (фиг. 3).
- Латералните дълбочинни граници (моделни пластове ML-2, ML-3, ML-4 и ML-5): север – граница със зададен поток (по приета от регионалния модел еквипотенциална линия); изток – непроницаема граница (по токова линия); юг и запад – граница със зададен поток.



Фиг 3. Гранични условия в моделен пласт ML-1

Композиране на основния локален 3D модел. Основният 3D модел е композиран при следните изходни позиции и входни параметри:

- Използвани са програма Modflow и постановките, изложени в концептуалната схема.
- Моделната област е дискретизирана с равномерна ортогонална мрежа. Моделът включва 5 моделни пласта и 14 моделни зони, чиито граници са илюстрирани на фиг. 4 и фиг. 5. Релефът на долнищата и горнищата на моделните пластове е съобразен с морфологията на терена и сложната геометрия на симулираните хидрогеоложки единици (фиг. 5).
- Зададените в модела стойности на филтрационните характеристики (k и µ) са представени в табл. 1.
- Регионалният поток е моделиран като по част от латералните граници е зададено гранично условие GHB.
- Реките Струма и Дивотинска са симулирани като тримерни обекти в пласт ML-1 с гранично условие от III род (River), съответно LC-Str и LC-Div – вж. фиг. 3.
- Инфилтрационното подхранване е зададено в моделен пласт ML-1 с гранично условие подхранване (Recharge). Границите на четирите зони с различна възможност за инфилтрация и зададените в тях начални стойности за скоростта на инфилтрация са илюстрирани на фиг. 3.

Калибриране на основния локален 3D модел. Калибрирацията е направена с програма PEST (Andersen, 1993). Използвани са стойности на измерените през април 2013 г. напори в 33 сондажа и 4 повърхностни водни пункта (Митков и др. 2013). За минимизиране разликата между измерените и изчислените с модела напори са варирани стойности на инфилтрационното подхранване W и на коефициента на филтрация k. Използвана е схема, при която варираните параметри се задават в специфицирани точки, а интерполационната процедура е по метода Kriging. Полученото добро съответствие между фактическата и моделната пиезометрия е свидетелство за устойчивостта и достатъчната надеждност на основния модел. Същият е приет за основа при разработване на прогнозните модели.



Фиг 4. Пространствена 3D дискретизация на моделната област



Фиг 5. Моделни зони в пластове ML-1, ML-2, ML-3 и ML-4



Фиг 6. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-1

Моделни решения. Структурата на филтрационното поле, илюстрирана със съставените посредством основния ло-



Фиг. 7. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-2



Фиг. 8. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-3



Фиг. 9. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-4



Фиг. 10. Структура на филтрационното поле в моделен пласт ML-5

кален модел карти на разпределението на водните нива в петте моделни пласта (фиг. 6, 7, 8, 9 и 10), показва че:

- Главната посока на подземния поток е към р. Струма.
- Структурата на филтрационното поле, особено в моделен пласт ML-1, в резултат на активния водообмен е забележимо деформирана около р. Дивотинска.
- Хидравличните градиенти в склоновите участъци в ЮЗ и СИ част на района са много големи. Тук са формирани водоносни зони, между които хидравличните връзки са слаби (или отсъстват), а водните нива в тях са установени на различни хипсометрични нива.

Таблица 2.

сновен локален зо мооел. вооен оаланс.				
Приходни елеме (източници на подхра Qi ⁱⁿ , I/s	Приходни елементи вточници на подхранване), Qi ⁱⁿ , l/s		(зони на ^t , I/s	
Латерални граници	21,28	Латерални граници	19,08	
Река Струма	8,79	Река Струма	9,22	
Река Дивотинска	1,18	Река Дивотинска	2,17	
Инфилтрация	11,05	Стари руднични галерии, дерета, разсеяни извори	11,79	
Общо	42,30	Общо	42,26	
Балансова грешка 0,1 % (difference)				

Основен локапен 3D модел. Воден баланс.

- В по-водопропускливите части на района (в зоната на подземните рудници и терасата на р. Струма) и в дълбочина (пластове ML-4 и ML-5) пиезометричните линии са плавни, а градиентите са доста по-ниски.
- Част от подземните води се оттича на повърхността от стари руднични галерии, от разсеяни извори с незначителен дебит или към деретата. Друга част се дренира подземно в терасата на р. Струма или извън границите на моделната област.

Водният баланс за района (табл. 2) дава основание да се направят следните по-важни изводи и обобщения:

- Общото количество на циркулиращите в моделната област с площ 8,2 km² подземни води е около 42 l/s.
- Основното подхранване (над 50 %) е от постъпващия по латералните граници подземен поток. Подхранването от инфилтрация е около 26 %. Постъпващите от р. Струма количества са около 21 % от приходната част на баланса, а от р. Дивотинска идват едва 3 %.
- Подземните води се дренират на юг през латералните дълбочинни граници (45 %) и в р. Струма (около 22 %). Друга значителна част (около 28 %) се дренира в стари руднични галерии, дерета и разсеяни извори. Останалите 5 % се оттичат към р. Дивотинска.

Първи прогнозен модел

Концептуална схема. Първият прогнозен модел има за цел да оцени възможно покачване на подземните води и промени във водния баланс при следното развитие на минната дейност:

 Въгледобивът в откритите рудници се прекратява, а заедно с това спира и изпомпването на вода от рудничните котловани.

- Водните нива в рудниците започват да се покачват в резултат на подземен водоприток, атмосферни валежи и повърхностни скатови води. Същевременно, нивата на водите в палеогенския комплекс и в свързаните с него хидрогеоложки единици също се покачват до ново равновесно състояние, съответстващо на променената хидрогеоложка обстановка.
- Направените с регионалния модел предварителни изчисления, в който е променено единствено вътрешното гранично условие (водоотлива от откритите рудници), показват, че при тази нова ситуация следва да очакваме, че напорите по границите на основния локален 3D модел ще се повишат с не повече от 4-5 m в условията на стабилизирана филтрация.

Композиране на първия прогнозен модел. Първият прогнозен модел е изцяло базиран на основния локален 3D модел. Направените промени засягат само външните гранични условия по северната и западната граница на моделната област. В съответствие с концептуалната схема и с известен инженерен запас при дефиниране на граничното условие GHB по двете граници са зададени напори с 5 m по-високи от приетите в основния модел.

Прогнозни резултати. Получените прогнозни решения са дадени в обобщен вид на фиг. 11 и 12 и табл. 3. Представените резултати показват:

- Покачването на подземните води ще варира в твърде широки граници – от 0,1 до 4-5 m.
- Ниските стойности са характерни за участъци в близост до р. Дивотинска и терасата на р. Струма, където покачването ще е най-често от 0,1 до 1-2 m. Най-ниските стойности се отнасят за терасата на р. Струма. Слабото повишаване на водните нива в тези части се дължи на сравнително по-високата водопропускливост на филтрационната среда и непосредствената близост на зоните на естествено дрениране на подземния поток.
- В района на трите квартала покачването на водните нива ще е от 0,3 до 3-4 m. Най-голямо ще е в кв. Драгановец, а най-ниско – в кв. Рудничар.

Таблица 3.

I	Търви п	рогнозен	модел.	Воден	баланс.

Приходни елементи (източници на подхранване), Q _i in , I/s		Разходни елементи (зони на дрениране), Qi ^{out} , I/s	
Латерални граници	23,42	Латерални граници	19,05
Река Струма	8,57	Река Струма	9,65
Река Дивотинска	1,14	Река Дивотинска	3,17
Инфилтрация	11,05	стари руднични галерии, дерета, разсеяни извори	12,32
Общо	44,18	Общо	44,19
Балансова грешка 0,03 % (difference)			

 Независимо от повсеместно покачване на подземните води във високите части на терена, тяхната дълбочина ще е доста голяма – около 15-20 m и повече. В петите на склоновите участъци, понижените релефни форми, сухите дерета, долината на р. Дивотинска и терасата на р. Струма, обаче, водните нива се очаква да се установят по-близо до земната повърхност (най-често в диапазона от 1 до 5 m). Възможно е също да възникнат някои, макар и много слаби и съвсем ограничени по площ водопроявления, главно покрай р. Дивотинска, преди навлизането й в Струмската тераса.

- Не се очакват сериозни промени във водния баланс, както по отношение на количеството на водообмена, така и в съотношението на балансовите елементи.
- Разходът на циркулиращите в моделната област подземни води ще нарасне с 2 l/s. Допълнителният водоприток ще постъпва през северната и западната граница. Дренирането на подземния поток ще се увеличи в посока на р. Дивотинска с около 1.0 l/s, а към р. Струма с около 0.4 l/s. Дренираните водни количества в старите галерии и деретата също ще нарастне с 0.5 l/s.



Фиг. 11. Втори прогнозен модел. Дълбочина на подземните води след спиране на открития въгледобив.



Фиг. 12. Втори прогнозен модел. Покачване на подземните води след спиране на открития въгледобив.

Втори прогнозен модел

Концептуална схема. Вторият прогнозен модел симулира по-екстремна хипотеза, с което се цели в дългосрочен план да се прогнозира максималното покачване на подземните води в района на трите квартала. Концептуалната схема включва:

- Приема се изцяло симулираната с първия прогнозен модел работна хипотеза, която допуска, че след спиране на водоотлива от откритите рудници нивото на подземните води по северната и западна граница на модела в един по-дълъг период ще се покачат с не повече от 4-5 m.
- В условията на по-продължителен дъждовен период се очаква, че инфилтрационното подхранване ще достигне своя максимум. Предварително проиграните с основния модел варианти показват, че максималните стойности на

скоростта на инфилтрация W за всяка от отделените четирите зони с различна водопропускливост са: $W_1 = 1.75E-4 \text{ m/d}$; $W_2 = 5.0E-5 \text{ m/d}$; $W_3 = 1.0E-4 \text{ m/d}$ и $W_4 = 1.5E-4 \text{ m/d}$ (9% от средния валеж).

 Направените с регионалния модел изчисления показват, че при по-интензивно инфилтрационно подхранване напорите по границите на основния локален модел ще се повишат с около 0,5 m при равни други условия.

Композиране на първия прогнозен модел. Вторият прогнозен модел е също изцяло базиран на основния модел. Промените засягат външните гранични условия по северната и западна граница на модела И инфилтрационното подхранване. При дефиниране на гранично условие GHB по двете граници са зададени напори с 5,5 m по-високи от приетите в основния модел. Това превишение отчита спирането на откритите рудници и интензивното инфилтрационно подхранване извън границите на основния модел. Инфилтрационното подхранване в четирите зони в моделен пласт ML-1 е зададено, съобразно приетите в концептуалната схема максимални стойности за скоростта на инфилтрация.

Прогнозни резултати. Резултатите от прогнозните изчисления са дадени в обобщен вид на фиг. 13, фиг. 14 и табл. 4. Представените карти на промените на водните нива и съставения воден баланс показват, че:

- Покачването на подземните води в района на трите квартала и прилежащите им територии ще варира в твърде широк диапазон – от 0.1 до 6.8 m.
- Най-ниските стойности (10-15 cm) се установяват в терасата на р. Струма.
- В района на кварталите покачването е доста по-високо най-често от 3-4 до 5,5 m. Единствено в южната половина на кв. Рудничар е по-ниско – от 0,1 до 3, m. Ниските стойности се отнасят за терасата на р. Струма.
- Дълбочината на подземните води във високите части на разглеждания район ще остане голяма (10-15 m и повече), макар че покачването вследствие на продължителните валежи тук е най-голямо (от 3 до 6-7 m). Същевременно, в ниската част се очакват малки покачвания на водните нива (от 0 до 1 m), което предполага и слабо разширяване на зоните с плитко залягащи подземни води. Главно покрай р. Дивотинска, в петите на склоновете и дълбоките дерета подземните води ще са съвсем близо до повърхността, а водопроявленията и заблатяванията на терена е възможно да обхванат по-голяма територия.
- Подземният водообмен в границите на модела ще се увеличи с около 3 l/s.
- Подхранването на подземните води от инфилтрация ще е с 5,5 l/s по-голямо, т.е. с повече от 50 % над обичайните стойности. Същевременно, постъпващия през северната и западната граница на модела подземен поток ще се увеличи с 1,8 l/s. Речното подхранване се очаква да спадне поради значителното повишаване на напорите във всички водоносни комплекси (без алувиалната тераса).
- Дренирането на подземните води по посока на р. Дивотинска ще се увеличи с приблизително 1.2 l/s, към старите галерии и деретата с около 0,9 l/s, а към р. Струма също с 0,9 l/s.



Фиг. 13. Втори прогнозен модел. Дълбочина на подземните води след края на открития въгледобив и при продължителни дъждове.



Фиг. 14. Първи прогнозен модел. Покачване на подземните води след края на открития въгледобив и при продължителни дъждове.

Таблица 4.

втори прогнозен мооел. вооен оалан

Приходни елементи (източници на подхранване), Qi ⁱⁿ , I/s		Разходни елементи (зони на дрениране), Qi ^{out} , I/s		
Латерални граници	21.98	Латерални граници	20.37	
Река Струма	7.92	Река Струма	10.14	
Река Дивотинска	1.05	Река Дивотинска	3.34	
Инфилтрация	15.56	стари руднични галерии, дерета, разсеяни извори	12.67	
Общо	46.51	Общо	46.52	
Балансова грешка 0.02 % (difference)				

Литература

- Митков, В. (р-л проект). 2013. Изготвяне на геомеханична и хидрогеоложка оценки на най-застрашените обекти на повърхността от прекратените подземни минни дейности към "Мини Перник" ЕАД (л). Докл. на ДЗЗД "Видекс-Геотехника, Фонд "Мини Перник" ЕАД (л).
- Стоянов, Н. Т. 2014. Регионален 3D модел на хидрогеоложките условия в района на мини "Перник" след прекратяване на подземния въгледобив. – Год. МГУ "Св. Ив. Рилски", 57, 1, (под печат).
- Andersen, P. F. 1993. A manual of instructional problems for the MODFLOW model. Center for Subsurface Modeling Support, EPA 600/R-93/010.
- McDonald, J. M., A. W. Harbaugh. 1988. A modular threedimensional finite-difference flow model. - *Techniques of Water Resources Investigations of the USGS*, Book 6. 586.

Статията е рецензирана от проф. дгн Михаил Гълъбов и препоръчана за публикуване от кат. "Хидрогеология и инженерна геология".

RELATING PLANT GROWTH AND SPECTRAL RESPONSE TO ECOLOGICAL FACTORS

Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova, Georgi Georgiev

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences /SRTI-BAS/, 1113 Sofia, rumik@abv.bg; dborisova@stil.bas.bg

ABSTRACT. Remote sensing is recognized as a powerful tool in numerous scientific and application fields. Remote sensing surveys have become an operational technology in managing problems of global importance, such as accelerating environmental changes and ecosystems degradation. The derived information supports solutions for more rational and sustainable land-use, biodiversity conservation and natural resources preservation. Recent developments in environmental studies are greatly related to ecological problems arising from increasing anthropogenic impacts on the biosphere and especially on vegetation. The interrelated nature of many environmental issues imposes the necessity to conduct interdisciplinary research and implement different approaches as well as to share and integrate the acquired data. Remote sensing provides advanced monitoring and alerting techniques, timely information extraction, modeling and forecasting possibilities used for decision-making in environmental control policies. In this paper we report results from an experimental study designed to make use of vegetation spectral features in assessing plant performance under different growth conditions. We investigate and analyze the relationship between growth variables and spectral response of agricultural species to abiotic stress factors (heavy metal pollution, nutrient deficiency and soil acidity). Multispectral data obtained from ground-based optical spectroradiometric measurements are examined in terms of the relation to ecological factors and the ability to serve as an indicator of crop performance.

ВРЪЗКА НА РАЗВИТИЕТО И СПЕКТРАЛНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РАСТИТЕЛНОСТ С ЕКОЛОГИЧНИТЕ УСЛОВИЯ Румяна Кънчева, Деница Борисова, Георги Георгиев

Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, 1113 София, rumik@abv.bg; dborisova@stil.bas.bg

РЕЗЮМЕ. Дистанционните изследвания са признати като информативно средство в множество научни и приложни области. Изследванията чрез дистанционни наблюдения са станали оперативна технологии в управлението на проблеми от глобално значение, като например ускоряването на промените в околната среда и деградацията на екосистемите. Извлечената информация подпомага вземането на решения за по-рационалното и устойчиво земеползване, за опазването на биологичното разнообразие и на природните ресурси. Новите постижения в изучаването на околната среда са силно свързани с екологични проблеми, произтичащи от увеличаването на антропогенните въздействия върху биосферата и особено върху растителността. Взаимосвързаният характер на много от проблемите на околната среда налага необходимостта да се провеждат интердисциплинарни изследвания и да се прилагат различни подходи, както и да споделят и да се интегрират придобитите данни. Дистанционните изследвания предлагат множество възможности като мониторинг и сигнализиране в реално време, навременно извличане на информация, моделиране и прогнозиране, използвани за вземане на решения по политиките за контрол на околната среда. В тази работа представме резултати от експериментално изследване, имащо за цел да се използват спектралните характеристики на растителността при оценка на състоянието на посевите при различни условия на растежет. Ние изследваме и анализираме връзката на растежните променда и регитела представяме резултати от експериментално изследване, имащо за цел да се използват спектралните характеристики на растителността при оценка на състоянието на посевите при различни и условия на растителността при оценка на състоянието на посевите при различни условия на растежет. Ние изследваме и анализираме връзката на растежните променливи и регистрираната промяна в спектралните характеристики на зактеристики на хранителни и стресови фактори (замърсяване с тежки метали, дефицит на хранителни вещества и киселинност на почвата). Многоспектралните фанни, които са получени по време на н

Introduction

The expansion of industrial development and rapid urbanization pose serious ecological problems associated with the increasing anthropogenic pressure on the environment. Destructive processes caused by human activities are in the focus of the scientific research and occupy the attention of social communities and government authorities. Air, water and soil pollution and its negative effects on the biosphere with unfavourable short-term and long-term consequences are a worldwide ecological problem. Industry, agriculture, forestry, and transportation all generate substances and by-products that are considered pollutants and contribute a significant impact on the environmental quality. Contaminated environments are a continuing concern because of the potential risks to natural resources and human health. Ecological monitoring and control are an objective of a great variety of projects, multipurpose programs and interdisciplinary research. In agriculture, abiotic stressors, including different types of pollution, are the most harmful factors concerning species growth and productivity. Heavy metals are among the most dangerous pollutants because of their high toxicity to organisms, persistent nature, high mobility, and long biological half-life. They constitute a group of environmentally hazardous substances whose deposition in soils and easy uptake by species affect soil fertility, plant development and production. In recent time, the desire for food safety and security has stimulated research on the danger associated with the consumption of food contaminated with heavy metals and other toxins. Soil is the primary recipient of these contaminants. Plants take up and absorb them and then they enter the food chain. Plant damage associated with heavy metals is of great concern throughout the world because of their toxic and mutagenic effects even at low concentration. Therefore, particularly great interest has focused on heavy metal-induced stress in plants, its mechanisms of action, consequences, and prevention (Rodriguez-Serrano et al., 2009; Bavi et al., 2011; Sobukola et al., 2010; Abii, 2012).

The interrelated nature of environmental problems has imposed the need of data integration and information sharing between different databases. Advanced monitoring, risk detection and early warning techniques, timely information retrieval, modeling and forecasting possibilities are prepositions for successful data application and decision support in developing policies and strategies dealing with environmental issues. In this respect, remote sensing is an essential tool in ecology-related research. It plays an expanding role in vegetation studies and especially for diagnosis of plant stresses. In agriculture, a primary goal of remote sensing is the assessment of crop development throughout the growing season. Agricultural lands are subjected to enormous pressure and their monitoring and assessment have become an important economic and ecological issue. The spreading acceptance of the concept of precision agriculture running generates much interest in the early detection of crop stress. The implementation of modern remote sensing technologies is one of the basic assumptions of this concept (Seelan et al., 2003; Liaghat and Balasundram, 2010). A lot of attention has been devoted to studying the influence of unfavourable environmental conditions on species performance and the relationship with their spectral behaviour. The impact of stress factors, such as drought, nutrient deficiency and toxic pollution, is described and evaluated from plant spectral response data. Various multispectral features have proven capabilities for crop health assessment and detection of stress situations (Carter et al., 1996; Penuelas et al., 1994; Serrano et al., 2000; Filella et al., 2004; Kancheva et al., 2005; Kancheva and Borisova, 2007; Baret et al., 2007; Franke and Menz, 2007; Falkenberg et al., 2007).

The interactions between vegetation canopies and incident radiation lie at the root of vegetation remote sensing. Remote sensing of vegetation is based on the analysis of plant reflectance and emittance properties as a function of plant physiology and morphology. Vegetation spectral behaviour depends on plant biophysical and biochemical variables and reveals significant sensitivity to them. Growth variables are defined by plant development processes and health condition. This means that variations of plant performance cause spectral response changes. On the other hand, vegetation health and vigour are an expression of the growing conditions (meteorological, soil properties, agricultural practices) including stress factors (nutrient deficiency, high temperatures, drought, contamination, etc.). As such, knowledge of plant spectral response to different environments is necessary to interpret remote sensing data and extract the information content of spectral data. The information is carried by the specifics of vegetation spectral characteristics which depend on biomass amount, leaf area, canopy cover, chlorophyll content, and etc. The relation "growing conditions - plant state - spectral features" determines the informational potential of multispectral data and provides grounds for vegetation stress detection.

In view of all this, our paper studies various features of plant spectral response to crop performance and growing conditions.

We use multispectral data in the visible and near infrared wavelength range to and describe plant canopies. Growth variables are associated with the phenological development and related to crop state and growing conditions. Spectral variables are used to characterize crop performance under different conditions. The paper is devoted particularly to studying the impact of heavy metal contamination and the role of the soil type and nitrogen fertilization on agricultural species. The main goal is to examine the ability of spectral signatures to serve as sustainable stress indicators. Stress factors and their effects on crop performance (growth and productivity) are related to plant spectral response in a statistical manner. The derived empirical relationships allow not only stress detection from plant spectral data but also stress monitoring during plant development period and quantitative assessment of stressinduced growth changes.

Materials and Methods

The paper presents some results of an extended study on the impact of stresses on crop performance and spectral behaviour. The research comprised greenhouse and laboratory experiments. Spring barley, peas and alfalfa were cultivated under different conditions and controlled combinations of factors. The pot trials included spring barley grown on neutral (pH=7.0-7.5) chernozem soil and acid (pH=5.0-5.5) grey forest soil. These soils were chosen for their different properties and response to heavy metal pollution. The soils were contaminated with Ni in concentrations 0 (control), 100, 200, 300 and 400 mg/kg. In addition, different nitrogen fertilizers were applied to treatments with equal 200 mg/kg Ni concentrations. Calcium nitrate Ca(NO₃)₂, ammonium nitrate NH₄NO₃ and potassium nitrate KNO₃ were used in amounts to provide equal N supply. The effects and interactions of the three factors: Ni, soil pH and N-form, were examined as conditions influencing crop performance. The trials were grown from seeding to harvest. Peas and alfalfa were grown in greenhouse conditions on the same soil types. The stress factor applied was Cd-contamination of the soil in concentrations 0, 5, 10, 20 and 30 mg/kg. The experimental design included also spring barley fertilization treatments with varying nitrogen supply rates (0, 200, 400, 600, 800 and 1000 mg/kg) of ammonium sulphate (NH₄)₂SO₄. The greenhouse trials were conducted in 3-5 replications. A second set of experiments comprised peas hydroponically grown in different media (water and green algae supernatant) and subjected to Cd contamination in concentrations 0. 5. 10. 20 and 30 mg/l. The heavy metal was introduced through CdCl₂.2.5H₂O. These treatments were replicated twice. The variety of growing conditions and their interactive effects ensured a wide range of plant performance and physiological status thus causing considerable variations of the spectral behaviour of the trials.

Reflectance, biometric and phenological data were collected on the greenhouse treatments throughout the entire growing season from emergence to full maturity for barley and to second harvest for alfalfa plots. Visible (VIS) and near infrared (NIR) multispectral measurements were carried out in the wavelength range 400-820 nm. Reflectance measurements were conducted at canopy level at weekly intervals. Crop performance under varying conditions was characterized by key growth variables (biomass, canopy cover fraction, height, pigment content) and yield (alfalfa biomass after harvest and barley grain production). The datasets were statistically analyzed to assess and describe the variations in plant development as a function of environmental conditions (heavy metal contamination, soil properties and nutrient deficiency). Multispectral reflectance data acquired during plant development were linked to plant variables and stress factors and examined for the ability to detect and quantify stressinduced changes in plants. Plant spectral response was examined for its sensitivity to crop performance (growth variables and productivity) and the stress level. Analysis of variance was conducted to determine the statistical significance of the differences between the samples (between replications and between different treatments). The analysis of variance allowed also to reveal the individual and interactive effects of the applied factors. Correlation analysis of the datasets was performed in order to determine the presence and strength of the relation between plant spectral and biophysical characteristics as well as to reveal the dependence of these variables on the growing conditions. Through regression analysis conducted on phenology-specific basis, i.e. at different phenological stages, empirical relationships were derived describing plant spectral and physiological response to the applied factors, Spectral models of plant performance were established quantifying the stress impact.

Remote sensing techniques make use of multispectral data to estimate plant biophysical and biochemical characteristics which are factors effecting plant canopy reflectance. Spectral variations carry information about plant growth and health condition, and the goal of data analysis is to extract this information. A common technique for multispectral data processing is the use of spectral transforms called vegetation indices (VIs). They are calculated as various combinations (Carter et al., 1996; Penuelas et al., 1994; Broge and Leblanc, 2000; Kancheva and Borisova, 2007; Glenn et al., 2008; Hatfield and Prueger, 2010; Osório et al., 2012) of the measured spectral reflectance factors r_{λ} and are defined usually as different ratios at two or more wavelengths or normalized differences. The wavelengths correspond to specific absorption and high reflectance regions of vegetation spectrum in the green (G - 550 nm), red (R - 670 nm) and near infrared (NIR - 800 nm) range, or are located within the R-NIR interval (680-780 nm) where the reflection increases steeply. Various spectral indicators were used in our study to characterize crop performance under different conditions.

Results and Discussion

In our study we examined a big number of vegetation indices for their correlation with plant variables and the applied stress factors. Various ratio combinations in different reflectance bands were calculated from the acquired multispectral data. Regression analysis was run on those indices which showed the best correlation with plant growth attributes and stress factors, the obtained empirical regressions being significant at 95% level of confidence. Special attention was paid to temporal aspects of plant spectral properties throughout the growing period. Statistical relationships were established also between the stress level and plant spectral and biophysical response, thus attaching a quantitative measure to the stress impact on crops. A comparison was made of the evaluated stress degree from growth and spectral data. The comparison demonstrated a very good agreement between the estimates from stress bioindicators (reduced canopy cover fraction and biomass, lower yield) and from spectral indicators (vegetation indices)

In this section we illustrate the performance of some vegetation indices for assessing plant condition and detecting nutrient and heavy metal-induced stress. Significant variations of crop biological and spectral performance were observed associated with the heavy metal impact. These variations were more pronounced and statistically meaningful for the trials on grey forest soil.

In the heavy metal treatments, significant worsening of plant performance was observed, especially of the trials on grey forest soil. Stress induced by heavy metals manifested itself in plant growth depression and resulted in reduced biophysical parameters. Ni and Cd inhibited also chlorophyll synthesis and accelerated carotenoid cumulation. Stress-induced changes of growth variables affected in turn plant reflectance features and a consequence of plant depression were variations of canopy spectral response. Strong correlations were found between spectral indicators and plant attributes. In Table 1 the correlation coefficients of different vegetation indices with peas growth variables and Cd concentration are given.

Table 1.

Correlation coefficients between vegetation indices and growth variables of Cd-polluted pea plants

VI	Height	Biomass	Cover	Cd
$(r_{820} - r_{670})/(r_{820} + r_{670})$	0.88	0.86	0.97	-0.97
r ₈₂₀ /r ₆₇₀	0.93	0.92	0.99	-0.97
$(r_{820} - r_{550})/(r_{820} + r_{550})$	0.75	0.75	0.93	-0.96
r_{820}/r_{550}	0.77	0.76	0.94	-0.97
$(r_{550} - r_{670})/(r_{550} + r_{670})$	0.96	0.96	0.97	-0.93
r ₅₅₀ /r ₆₇₀	0.97	0.98	0.96	-0.91
$r_{820}.(r_{550} - r_{670})/(r_{550} + r_{670})$	0.89	0.90	0.98	-0.95
$r_{670}/(r_{550}-r_{670})$	-0.90	-0.90	-0.96	0.94
$r_{670}/(r_{550}+r_{820})$	-0.86	-0.86	-0.97	0.97
$r_{550}/(r_{670}+r_{820})$	-0.71	-0.71	-0.91	0.95
$(r_{670}.r_{670})/(r_{620}.r_{720})$	-0.90	-0.89	-0.98	0.97
$\sqrt{(\mathbf{r}_{550}.\mathbf{r}_{550}) + (\mathbf{r}_{820}.\mathbf{r}_{820})}$	0.50	0.50	0.75	-0.77

One more evidence of the high correlation between spectral indices and stress factors is Table 2 which presents the established coefficients of correlation between various VIs and Cd concentration in the grey forest soil for alfalfa at different phenology stages. As it can be seen, the stress effect became stronger with time (and higher the correlation) which is explained with the longer action of the heavy metal.

The contamination impact on crop growth variables and reflectance features was quantitatively described by regression analysis. Notable differences in vegetation reflectance, especially in the infrared portion of the spectrum, were attributed to green canopy fraction. This growth variable is a factor of vegetation spectral reflectance and, on the other hand, is closely related to other plant characteristics such as (biomass, leaf area index, density, etc.) being indicative of crop development. Canopy reflectance signatures considerably varied with the amount of soil exposed, i.e. with canopy fraction.

Table 2.

Correlation coefficients between Cd concentration in the grey forest soil and vegetation indices of alfalfa at different phenological stages: real leaf (1), rosette (2), button forming (3), and before flowering (4)

VI	1	2	3	4
$(r_{800}-r_{670})/(r_{800}+r_{670})$	-0.69	-0.74	-0.83	-0.91
(r550-r670)/(r550+r670)	-0.67	-0.79	-0.83	-0.9
r ₇₁₀ /r ₆₇₀	-0.69	-0.74	-0.81	-0.88
(r ₈₀₀ -r ₆₇₀)/r ₈₀₀	-0.68	-0.73	-0.83	-0.89
(r550-r670)/r 550	-0.68	-0.79	-0.84	-0.89
(r ₇₂₀ -r ₇₀₀)/r ₇₂₀	-0.81	-0.78	-0.85	-0.92
(r ₇₂₀ -r ₆₇₀)/r ₇₂₀	-0.74	-0.79	-0.81	-0.87
$r_{670}/(r_{800}+r_{550})$	0.71	0.75	0.84	0.9
$r_{550}/(r_{650}+r_{670})$	-0.68	0.77	0.83	-0.91
$r_{670}/(r_{800}+r_{670}+r_{550})$	0.71	0.75	0.84	0.91
$r_{800}/(r_{670}+r_{680}+r_{690}+r_{700}+r_{710}+r_{720})$	-0.67	-0.79	-0.85	-0.9
$\sqrt{(r_{800}-r_{670})/(r_{800}+r_{670})+0.5}$	-0.68	-0.78	-0.83	-0.9

Seasonal changes are a distinguishing feature of species biophysical and spectral properties. In agricultural monitoring, remote sensing time series data are a source of valuable information about the growth process. This determines the importance of studying the relationships between crop variables and spectral response at different stages of plant development. The temporal behavior of spectral indices represents a typical canopy expansion and senescence curve and proves useful for crop growth assessment by tracking the onset and duration of phenological events. Crop stress detection from multitemporal data is based on the temporal trends and characteristics of vegetation index temporal curves (amplitude, minimum and maximum values, integrated area under the curve, slopes, and so on). The impact of Ni contamination on the seasonal behaviour of the (NIR-R)/(NIR+R) index of spring barley on grey soil is shown in Figure 1a. In Figure 1b the link between Ni contamination level and spectral data acquired during the growing season is shown.



Fig. 1. Dependence of the temporal behavior of barley (NIR-R)/ (NIR+R) spectral index (a), and accumulated sum of the index during the growing season (b) on Ni concentration in the grey forest soil

The temporal profiles considerably differed during the vegetative period. They denoted differences of crop performance and detected differences of plant condition related to the occurrence of stress. Temporal spectral patterns were indicative not only of plant depression but also of the stress level. The important point is that stresses were observed throughout the whole growing season and could be already detected at early stages of the phonological development.

Seasonally-integrated sums ΣVI_t of various vegetation indices were associated with crop stress response and related to yield. In Figure 2 an example of yield prediction applying this model is shown. Using the temporal sum of the spectral index and the obtained regression equation, the grain yield from three barley treatments was estimated. The nitrogen fertilizer type effected plant spectral behaviour, while the other factors (soil type, contamination, nitrogen amount) were constant. Good correspondence was found between actual (measured) and modeled (estimated) yield values, the maximum relative error being about 12%. Yield prediction models with high accuray were developed also for half-season VI sums and VI values at single growth stages. Temporal spectroradiometric data distinctly tracked plant ontogenetic changes and were able at the same time to discriminate between plant health conditions. This explained the fact that accumulated VIs values during growth were found to be very closely related to crop yield. An advantage of using multitemporal predictions is that they account for any unfavorable effects on species development that exist or might occur during the growing season, and thus can serve as a type of "dynamic" predictors.



Fig. 2. Relationship between barley grain yield and (NIR-R)/(NIR+R) whole-season sum (a); actual (—) and predicted (- - -) from the regression model barley yield of equally Ni-contaminated (200 mg/kg) treatments with different fertilizers applied (b)

Soil properties were another factor effecting plant performance, especially in combination with other growing conditions. Neutral chernozem and acid grey forest soils exhibited different behaviour to heavy metals whose mobility and uptake by plants increased with higher soil acidity. The influence of the soil type was statistically significant and manifested in reduced heavy metal impact on crop growth in the case of chernozem soil trials and stronger stress impact on the acid soil treatments. There were not big yield differences between the control non-polluted treatments grown on both soils, the grain yield of the chernozem plots being about 10% higher. The polluted spring barley and alfalfa treatments grown on chernozem were less affected by the heavy metal than those on the grey forest soil. As a consequence, much smaller variations of plant spectral response to contamination of the chernozem soil were observed. This is clearly illustrated by Figure 3a and 3b. They show (NIR-R)/(NIR+R) seasonal profiles of control and equally Ni-polluted spring barley treatments grown respectively on chernozem and grey soil. On the contrary, considerable spectral variations were observed for treatments on grey forest soil in relation to Ni concentrations (see also Figure 1a). The acidity of the soil in this case increased the mobility and accessibility of heavy metals to plants thus stronger inhibiting their growth.



Fig. 3. (NIR-R)/(NIR+R) seasonal profiles of control (1) and 400 mg/kg Ni-polluted (3) spring barley treatments on neutral chernozem (a) and acid grey forest (b) soil

Nutrient supply was another factor detected by measurements of plant reflectance response. Figure 4a shows the impact of nitrogen concentration in leached chernozem soil on NIR/G temporal profiles of barley fertilization treatments. As evident from the plot, nutrient deficiency was clearly manifested and observed from multispectral data. Differences in crop reflectance were observed also in relation to the fertilizer form regardless of the equal nitrogen amount as illustrated in Figure 4b which presents the variance of NIR/G temporal behavior of barley trials with equal nitrogen concentration introduced through different fertilizers. Spectral reflectance was a reliable sign and measure of plant growth performance.



Fig. 4. Temporal behaviour of NIR/G spectral index of spring barley treatments with different nitrogen concentration: 1 - 800 mg/kg, 2 - 200 mg/kg, 3 - 0 mg/kg) introduced through the same fertilizer $(NH_4)_2SO_4$ (a); and with equal nitrogen concentration (800 mg/kg) introduced through different fertilizers (b): 1 - $(NH_4)_2SO_4$, 2 - NH_4NO_3 , 3 - KNO_3

Conclusions

The obtained results indicate that growing conditions cause statistically significant variations of plant spectral response associated with the sensitivity of the reflectance properties to crop growth characteristics. Various spectral features (vegetation indices) are highly correlated with stress impacts resulting in our study from heavy metal contamination and nutrient deficiency. Multispectral and multitemporal data proves applicable for reliable diagnosis of plants and detection of stress symptoms. Growth depression expressed in variations of plant performance is successfully evaluated from spectral measurements. The derived empirical dependences of biophysical and spectral variables on factors effecting growth attach a quantitative measure to plant condition assessment. They permitted not only to discriminate between depressed and healthy canopies but also to quantitatively describe negative impacts and assess the degree of stress. These findings highlight a promising strategy for applying remote sensing techniques and spectrally-based approaches to characterize dynamic and environmentally sensitive aspects of species physiological development.

References

- Abii, T.A. 2012. Levels of Heavy Metals Cr, Pb, Cd Available for plants within abandoned mechanic workshops in Umuahia Metropolis. - *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol. 2 (2), 79-82.
- Baret, F., V. Houle, M. Guerrif. 2007. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. - *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58(4), 869–880.
- Bavi, K., B. Kholdebarin, A. Morad. 2011. Effect of cadmium on growth, protein content and peroxidase activity in pea plants, Pak. - J. Bot., Vol. 43(3), 1467-1470.
- Broge, N. H., E. Leblanc. 2000. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. - *Remote Sensing of Environment*, Vol. 76, 156-172.
- Carter, G. A., W. G. Cibula, R. L. Miller. 1996. Narrow-band reflectance imagery compared with thermal imagery for early detection of plant stress. - *Journal of Plant Physiology*, Vol. 148, 515–522.
- Falkenberg, N.R., G. Piccinni, J. T. Cothren, D. I. Leskovar, C. M. Rush. 2007. Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation management of cotton. - *Agricultural water management*, Vol. 87, 23–31.
- Filella, I., J. Penuelas, L. Llorens, M. Estiarte. 2004. Reflectance assessment of seasonal and annual changes in biomass and CO₂ uptake of a Mediterranean shrubland submitted to experimental warming and drought. - *Remote Sensing of Environment*, Vol. 90, 308–318.
- Franke, J., G. Menz. 2007. Multi-temporal wheat disease detection by multi-spectral remote sensing. - *Precision Agriculture*, Vol. 8(3), 161-172.
- Glenn, E., A. Huete, P. Nagler, S. Nelson. 2008. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. - Sensors, Vol. 8, 2136-2160.
- Hatfield, J.L., J. H. Prueger. 2010. Value of using different vegetative indices to quantify agricultural crop characteristics at different growth stages under varying management practices. *Remote Sensing*, Vol. 2, 562-578.
- Kancheva, R., I. Iliev, D. Borisova, S. Chankova, V. Kapchina. 2005. Detection of plant physiological stress using spectral data. - *Ecological Engineering and Environment Protection*, Vol. 1, 4-9.
- Kancheva, R., D. Borisova. 2007. Vegetation stress indicators derived from multispectral and multitemporal data. - Space Technology, Vol. 26 (3), 1–8.
- Liaghat, S., S. Balasundram. 2010. A review: The role of remote sensing in precision agriculture. *American Journal* of Agricultural and Biological Sciences, Vol. 5 (1), 50-55.

Osório, J., M. Osório, A. Romano. 2012. Reflectance indices as nondestructive indicators of the physiological status of Ceratonia siliqua seedlings under varying moisture and temperature regimes. - *Functional Plant Biology*, Vol. 39, 588–597.

Penuelas, J., J. Gamon, A. Fredeen, J. Merlno, C. Field. 1994. Reflectance indices associated with physiological changes in nitrogen- and water-limited sunflower leaves. - *Remote Sensing of Environment*, Vol. 48, 135-146.

- Rodriguez-Serrano, M., M. C. Romero-Puertas, D. M. Pazmino, P. S. Testillano, M. C. Risueno, L. A. del Rio, L. M. Sandalio. 2009. Cellular Response of Pea Plants to Cadmium Toxicity: Cross Talk between Reactive Oxygen Species, Nitric Oxide, and Calcium. *Plant Physiology*, Vol. 150, 229–243.
- Seelan, S. K., S. Laguette, G. M. Casady, G. A. Seielstad. 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. - *Remote Sensing of Environment*, Vol. 88 (1-2), 157-169.
- Serrano, L., I. Filella, J. Penuelas. 2000. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. - *Crop Sci.*, Vol. 40, 723–731.
- Sobukola, P., O. M. Adeniran, A. A. Odedairo, O. E. Kajihausa. 2010. Heavy metal levels of some fruits and leafy vegetables from selected markets in Lagos, Nigeria. -*African Journal of Food Science*, Vol. 4(2), 389-393.

Статията е рецензирана от проф. дгн Стефан Димовски и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика.

FIELD SPECTROSCOPY MEASUREMENTS OF ROCKS IN EARTH OBSERVATIONS

Denitsa Borisova¹, Banush Banushev², Doyno Petkov¹, Valentin Atanassov¹

¹Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences /SRTI-BAS/, 1113 Sofia, dborisova@stil.bas.bg ²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, banushev@mgu.bg

ABSTRACT. Remote sensing applications in Earth observation begin with the design and development of equipment for carrying out research of the monitored objects remotely and without disturbing their integrity. Ground-truth data in Earth observation of the environment and in the remote sensing investigations are very important. The main goal in the geological remote sensing is the determination of the chemical and/or mineral composition and the structure of the rocks. For this purpose the field spectroscopy measurements of the samples of the main rock types are performed. These measurements are made to collect, compile and complete guide with spectral characteristics of different rocks for their reliable identification and for the determination of their mineral and chemical composition. The experiments are based on major physical principles such as light scattering, absorption of light, and reflection of light in the electromagnetic spectrum. In the field-based studies the Thematically Oriented Multi-channel Spectrometer designed and constructed in Remote Sensing Systems Department at SRTI-BAS is used. The spectrometer with increased spectral resolution works in (400-900) nm range of the spectrum. The obtained spectral data are compared with similar data from different instruments for Earth observation included in the spectral libraries. They correspond to the shape of the spectral signature in the same spectral range obtained with other spectrometers. These promising results encourage us to plan the next campaigns for the field spectroscopy measurements in different regions of Bulgaria.

ТЕРЕННИ СПЕКТРОМЕТРИЧНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА СКАЛИ В КОМПЛЕКСНИТЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ЗЕМЯТА Деница Борисова¹, Бануш Банушев², Дойно Петков¹, Валентин Атанасов¹

¹Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, 1113 София, dborisova@stil.bas.bg ²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, banushev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Приложението на спътниковите изображения при комплексните наблюдения на Земята започва с проектирането и конструирането на апаратура за извършване на наблюдения на изучаваните обекти от разстояние и без да се нарушава тяхната цялост. Наземните данни са много важни в мониторинга на околната среда и в дистанционни изследвания на Земята. Една основна цел в дистанционните изследвания за нуждите на геологията е определянето на химичния и/или минерален състав и на структурата на скалите. За тази цел са извършени полеви (теренни) спектрометрични измервания на образци от основните видове скали. Тези измервания са направени, за да се събере, състави и периодично да се попълва ръководство със спектрални характеристики на различните скали с цел тяхното надеждно идентифициране и за определяне на минералния и химичния им състав. Експериментите са базирани на основни физични принципи като разсейване, абсорбция и отражение на светлината в електромагнитния спектър /ЕМС/. В теренните проучвания е използван тематично ориентиран многоканален спектрометър, проектиран и изработен в секция Системи за дистанционни изследвания / СДИ/ в ИКИТ-БАН. Спектрометърът с повишена спектрална разделителна способност работи в диапазона на ЕМС (400-900) nm. Получените спектрални данни са сравнени с подобни данни от различни инструменти за наблюдение на Земята, включени в спектрални библиотеки. Получените зависимости съответстват на формата на спектралните сигнатури в същия обхват на спектъра, включени в сдруги спектрометри. Тези обещаващи резултати ни насърчават да планираме следващи кампании за теренни спектрометрични измервания в различни региони на България.

Introduction

Remote sensing using geophysical principles begins with the development and design of equipment for performing research of objects remotely and without disturbing their integrity. In geological remote sensing studies the determination of the chemical/mineral composition and the structure of the objects within the field of view of the instrument either obtained in the lab, with a field spectrometer, or with a remote sensor is a main goal. Or in other words: "What kind of rock am I looking at?" For this purpose field spectrometric studies of rocks were made to collect spectral signatures of different rock types for the reliable detection and identification of their mineral and chemical composition. The aim of this study is to present and test the procedure of preprocessing of the field spectrometric data. The experiments are based on major physical principles

such as light scattering, absorption of light, and reflection of light in the electromagnetic spectrum (EMS). Field spectral measurements were made with Thematically Oriented Multichannel Spectrometer designed and constructed in Remote Sensing Systems Department at SRTI-BAS. The spectrometer with increased spectral resolution works in (400-900) nm range of EMS. The results are compared with similar data from spectral libraries. They correspond to the shape of reflectance spectra in the same range of EMS obtained with other spectrometers.

Theory and Methods

Physical principles. Main physical principles that are based for performed experimental measurements are: scattering,

absorption and reflection of the solar radiation in the visible range of electromagnetic spectrum (ems). Two major definitions which refer to the measurements carried out:

• Rocks are natural mineral aggregates and thus considered in the experiments;

• Hapke's equation to model the reflectance (r_{λ}) from an exposed rock (Hapke, 1981). The point of all of this is that with knowledge of known optical constants of various minerals and the angle of incident and emitted light, we can model the reflectance of a rock with mixed minerals and grain sizes.



Fig. 1. Physical processes in solid transparent parallel plate

What does the solar radiation do when it hits a rock? When the radiation reaching the object (in this case - the rocks) it simultaneously scattered, reflected off of the grains either away from the surface or onto other grains, refracted through a grain onto other grains and absorbed by a grain. Thus the physical processes occur simultaneously (Figure 1) and following physical laws and relationships are applied:

Beers Law (exponential law of absorption):

$$I = I_0 e^{-kx} \tag{1}$$

I – observed light intensity [W/sr], I_0 – original light intensity [W/sr], *k* – absorption coefficient ($k = 4K/\lambda$) [m⁻¹] and *x* is the distance traveled through the medium [m].

• Intensity of reflected solar radiation I_2 [W/sr]:

$$I_{2} = I_{0} \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^{2}$$
(2)

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1}\right)^2 \tag{3}$$

R is the reflection coefficient, is defined for two types of media,

and is not dependent on the direction of propagation and n is the relative refractive index of the reflecting medium.

• Spectral reflectance (measured in the field):

$$r_{\lambda} = L_{\lambda} / L_{calib} \tag{4}$$

represents a measure of the ability of a surface to reflect solar radiation which criterion is equal to the ratio of reflected solar radiation by the object for each wavelength L_{λ} [W/(m².sr)] to reflected solar radiation by the calibrated reference surface the same wavelength L_{calib} [W/(m².sr)] in the same conditions of these measurements. Resultant graph plotted as a functional dependence r_{λ} vs. λ is called the spectrum or the spectral reflectance characteristics, or the spectral signature.

Spectrometric measurements. The field spectrometric measurements in this research are performed using the thematically oriented multichannel spectrometer (TOMS) working in (400 - 900) nm range of the EMS (Petkov et al., 2005a,b). The main measuring device of the field spectrometer TOMS is USB2000 (Ocean Optics, 2013).

The preprocessing is an important part of analysis of imaging spectrometry data and is relevant to a quantitative estimation of the data. It includes realization of characterization and correction procedures eliminating at sensor effects and data correction algorithms accounting environmental conditions. The measured radiance is influenced by a number of factors such as instrument response characteristics, atmospheric conditions, changes in scene illumination and viewing geometry.

More spectrometer characteristics will be expected to remain constant through instrument life and can be characterized in laboratory condition, while others will be expected to change during the operating mode and these must be corrected at the field work The characterization methods and correspondence procedures are determined in detail on the basis of error analyses. The frequency of characterization processes and algorithm update will vary with rate of errors change.

The following preprocessing procedures are expected to be considered critical for data calibration:

- atmospheric correction;
- spectral data correction;
- radiometric data correction.

Atmospheric correction reduces the radiance at the sensor to a reflectance value at the object.

When detailed radiometric correction is not feasible, normalization is an alternative could be makes the corrected data independent of multiplicative noise such as topographic and solar spectrum effects. This can be performed using white calibrated target (reference standard), and the results are based on the relationship between radiance and reflectance.

A way for preprocessing of spectrometer data is indicated in the flow diagram (Figure 2).



Fig. 2. Preprocessing data flow diagram

The preprocessing algorithms of the received data are performed by the software of the spectrometer and include: the correction for electrical dark, the noise correction, the radiometric correction, the statistical correction and calibration (Atanassov and Jelev, 2004; Atanassov et al., 2005). The atmospheric correction is not needed in these filed experiments because of the low distance between the studied object and the fore optics of the spectrometer (see Table 1). In Table 1 as a part of the preprocessing data the additional information is presented. In addition we have to take in account GPS-coordinates of the field points of measurement (*GPS*), weather conditions of the measurements in the field experiments (*atm*), the integration time for each acquisition (t_i), the number of statistically averaged spectra (λ_n) and the

distance between the object and the device fore optics (H_{aa}).

Table 1. Additional information per experiment

point	object	GPS coordinates	Mountain	atm	$t_i^{}$, ms	λ_n	$H_{\scriptscriptstyle oo}$, cm
1	monzonite	N42°35'18" E23°17'34"	Vitosha	clear, shadow	5	100	10
2	granite	N42°09'14" E23°19'53"	Rila	clear, shadow	5	100	10
3	diorite	N43°07'39" E23°08'04"	Stara planina	clear, shadow	5	100	10
4	reference standard	at every point	at every point	clear, shadow	5	100	10

Short petrographic description. Plutonic rocks in the Vitosha mountain are gabbro, monzonites, leucosyenites and granosyenites (Димитров, 1942), which according to modern petrographic nomenclature are monzodiorites, quartz-monzodiorites, quartz-monzonites, syenites, and quartz-syenites (Дабовски и др., 2009). Field spectrometric studies in the area of Hotel Moreni are made for the monzonites. Monzonites are colorful, grey-greenish, and medium-to-coarse-grained, with a massive structure and monzonitic texture. The rock-forming minerals are plagioclase, K-feldspar, augite, amphibole, biotite, a little quartz, accessory magnetite, apatite and titanite. The rocks are relatively fresh, with the rarely overlaped secondary mineral association - sericite, clay minerals, carbonate, epidote and chlorite.

In Rila Mountain the area of the locality Kirilova polyana is consisted of high-grade metamorphic rocks, metamorphosed ultrabasic and basic igneous rocks; called South Bulgarian granitoids, aplite-pegmatoid granites and fine-grained biotite granites. Spectrometric studies were made of the fine-grained biotite granite. They expose near Kirilova polyana and in the West direction and form the Monastic Body. Fine-grained biotite granites are light gray with a massive structure and hypidiomorphic texture. The rock-forming minerals are magmatic K-feldspar, quartz, plagioclase, biotite and zircon and secondary - sericite, chlorite and clay minerals.

On the road to the village Barziya in about 3 km after Petrohan pass are revealed magmatic rocks from Petrohan pluton. It is a complex magma body emplaced into rocks of Berkovska and Dalgidelska groups. It is made of several magmatic phases: the first is gabbro, widespread in northern part of the pluton near Berkovitsa; the second is represented by diorites, and the third - by granodiorites. The largest areas occupy diorites and granodiorites. Field spectrometric studies have been made of the diorites. They are gray, grey-greenish, medium-grained, and uniform-grained. Their structure is massive, and the texture – prismatic granular. The main rockforming minerals are plagioclase (andesine) and amphibole, secondary – biotite and augite, and accessory - titanite and magnetite.

Results and Discussion

For the reflectance calibration of the spectrometric measurements in the field we used a reference standard. The field standards are reference materials that should exhibit a highly Lambertian reflectance over the whole spectral range of interest. In addition, the reflectance of the materials should be

insensitive to the bidirectional reflectance distribution function effects and should reflect at least more than 80% of the incoming solar radiation.

Since contamination of the standards material is often a problem, the spectral and spatial characteristics should not degrade over time and – if used frequently in the field – should be able to be washed or rinsed to remove contamination or particles such as mud, sand or others (Schaepman, 1998). The used reference standard is made from barium sulphate and its surface exhibits lambertian behavior (Figure 3).



Fig. 3. Reflectance spectra of the used reference standard

In Figure 4 the presented reflectance spectra of three rock types are resulted as following the above described procedure. The obtained spectral data are pre-corrected under laboratory conditions.



Fig. 4. Reflectance spectra of the studied rocks

The received, preprocessed and analyzed data are compared with similar data from the spectral libraries (USGS, 2013). The spectral libraries represent the collections of spectra of numerous minerals and rocks obtained using the spectrometers with high radiometric and spectral resolution. Collected spectra could be compared with other spectra in order to be more accurately identified objects of comparative research. It is particularly important to take into account that data from different spectrometers should be compared only when they are converted to the criterion of comparability - the reflectance coefficient. Such spectral libraries are the basis for comparative remote sensing studies of rocks.

Conclusions

The procedure of the preprocessing of the field spectrometric data is presented and tested. Obtained with the spectrometer TOMS the reflectance spectra of the studied rocks correspond as form and values of spectral reflectance in the same range of EMS to the similar signatures received using other spectrometers and presented in the spectral libraries.

Acknowledgments. This research was supported by the Bulgarian Science Fund under contract DFNI – I01/8.

References

- Димитров, С. 1942. Витошкият плутон. Год. СУ, Физ.матем. фак., 3, 89-165.
- Дабовски, Х., Б. Каменов, Д. Синьовски, Е. Василев, Е. Димитрова. 2009. Горнокредна геология. Магматизъм. – В: Загорчев, И., Дабовски, Х., Николов, Т. (ред). 2009. Геология на България. Том II. Мезозойска геология. С., Акад. изд. "Проф. Марин Дринов", 423-553.
- Atanassov, V., G. Jelev. 2004. Algorithm for dark current characterization of imaging spectrometer. - Aerospace Research in Bulgaria, 19, 77-83.
- Atanassov, V., G. Jelev, L. Kraleva. 2005. Imaging spectrometer data correction. Scientific Conference with International Participation "Space, Ecology, Safety – SES'2005", Varna, Bulgaria, Conference Proceedings, Book 1, 221–226.
- Hapke, B. 1981. Bidirectional reflectance spectroscopy 1. Theory. - J. Geophys. Res., 86, 3039-3054.
- Ocean Optics. 2013. Accessed December 2013. http://www.oceanoptics.com/homepage.asp
- Petkov, D., Al. Krumov, H. Nikolov, G. Georgiev. 2005a. Multichannel nadir spectrometer for thematically oriented remote sensing investigations. - *Proceedings of SES 2005*, 227-231.
- Petkov, D.; G. Georgiev; H. Nikolov. 2005b. Thematically oriented multichannel spectrometer (TOMS). - Aerospace Research in Bulgaria, No. 20, 51 - 54.
- Schaepman, M. 1998. *Calibration of a field spectroradiometer*. Academic Dept.: Dept. of Geography, Zurich, pp.155.
- USGS Spectroscopy Lab. 2014., Accessed June 2014. http://speclab.cr.usgs.gov/spectral.lib06/

Статията е рецензирана от проф. дгн Стефан Димовски и препоръчана за публикуване от кат. "Приложна геофизика.

ПЕРСПЕКТИВИ ЗА НАКЛОНЕНО-НАСОЧЕНО СОНДИРАНЕ В НАХОДИЩАТА НА ВЪГЛЕВОДОРОДИ В БЪЛГАРИЯ

Добромир Нецов

Минно-геоложки университет "Св.Иван Рилски", 1700 София, necov_21@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Сондирането за течни полезни изкопаеми, в частност въглеводороди, в България датира от преди повече от 50 години. Натрупаният сондажен фонд през целия този период (повече от 3000 сондажа) ни дава подробна характеристика на откритите и разработени нефтени, газови и кондензатни находища, техните структури, режими на работа и запаси. Тъй като всички те са в последен етап на разработени нефтени, газови и кондензатни находища, техните структури, режими на работа и запаси. Тъй като всички те са в последен етап на разработека, с намаляващ добив и увеличаващо се водно съдържание интерес и предизвикателство е да се приложат методите на наклонено-насоченото сондиране на места, в които има останали недренирани участъци от продуктивните хоризонти и така от една страна, да се върнат вложенията за отклоняване на сондаж, а от друга – да се удътжи експлоатацията на конкретното находище. Тези методи са отдавна прилагани навсякъде по света и са се доказали като икономически ефективни. Вземайки предвиди наличната геоложка, геофизична, технологична и техническа информация можем да определим перспективните от икономически гледна точка сондажи за находищата Долни Дъбник, Горни Дъбник, Долни Луковит, Тюленово и др. Тя включва дълбочини и мощност на интересуващите ни хоризонти, пластови на отклоненията и техническите средства за постигането му и, разбира се, методите за повторно предизвикване на сондажи и въвеждането му в работа.

PERSPECTIVES FOR DIRECTIONAL DRILLING IN HYDROCARBON FIELDS IN BULGARIA

Dobromir Netsov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, necov_21@yahoo.com

ABSTRACT. Drilling for hydrocarbons (oil, gas and condensate) in Bulgaria has a history for more than 50 years. The drilled wells (more than 3000) during this period give us full characteristics of the discoveries and exploration of our oil, gas and condensate fields, their structures, working regimes and reserves. Due to the fact that they are all in their last stage of development, with constantly decreasing production and increasing water content, it is rather interesting and challenging to apply the methods of horizontal and directional drilling in such areas of the fields that are not fully extracted yet. Success in these operations could mean that on one hand we would return the investments we give for directional drilling and on the other hand – we prolong the life of the field. This is widely used all over the world with very good economic effect. Having all the geological, geophysical, technological and technical information in mind we can determine the economically perspective wells in some of our Bulgarian fields – Dolni Dabnik, Gorni Dabnik, Dolni Lukovit, Tulenovo etc. This information should contain debts and widths of pay zones, layer pressures and their behavior during the years of extraction, rock characteristics, well working regimes, technological execution of the directional well and the technical means for its realization and last, but not least the methods for making secondary flow in the well and extracting it.

Въведение

Сондирането за течни полезни изкопаеми, в частност въглеводороди, в България датира от преди повече от 50 години. Натрупаният сондажен фонд през целия този период (повече от 3000 сондажа) дава подробна характеристика на откритите и разработени нефтени, газови и кондензатни находища, техните структури, режими на работа и запаси. Тъй като всички те са в последен етап на разработка, с намаляващ добив и увеличаващо се водно съдържание, интерес и предизвикателство е да се приложат методите на наклонено-насоченото сондиране на места, в които има останали недренирани участъци от продуктивните хоризонти и така, от една страна, да се върнат вложенията за отклоняване на сондаж, а от друга - да се удължи експлоатацията на конкретното находище. Тези методи са отдавна прилагани навсякъде по света и са се доказали като икономически ефективни.

Вземайки предвид наличната геоложка, геофизична, технологична и техническа информация може да се определият перспективните от икономически гледна точка сондажи за находищата Долни Дъбник, Горни Дъбник, Долни Луковит, Тюленово и др. Тя включва: дълбочини и дебелина на перспективните хоризонти; пластови налягания и поведението им през годините на експлоатация; качества на скалите-колектори; режими на работа на сондажите; технологично изпълнение на отклоненията и техническите средства за постигането му и методи за повторно предизвикване на приток в сондажа и въвеждането му в работа.

Анализ на наличната информация

След предварителна подробна оценка на находищата Горни и Долни Дъбник са избрани 3 сондажа, подходящи за отклонение – означени условно Р-1, Р-2 Долни Дъбник и Р-3 Горни Дъбник. Разгледани са координатите на характерните точки за зарязване нов ствол за всеки от тях – дълбочина и дебелина на продуктивен хоризонт, точка на отклоняване, точка на обсаждане, забой, интензивност на изкривяване, пластови налягания и т.н. Въглеводородите в тези находища се намират в скалите на Среден Триас – Аниз (Т₂а) и затова трябва да се знае първоначално какъв е общият геоложки разрез на всеки от сондажите под точката на зарязване (условно спрямо кота ротор – 5 m). Този разрез е даден за всеки от трите сондажа в табл. 1, 2 и 3.

Таблица 1.

Разрез под точката на отклоняване за сондаж Р-1 Долни Дъбник

Формация	Дълбочина, m		Дебелина, m	Литология
	ОТ	до		_
Каспичанска свита (К1 ^b)	2300	2514	214	Варовици и доломити
Плевенска свита (J ₂ ^{cf} +J ₃)	2514	2742	228	Варовици
Озировска свита (J ₁ -J ₂)	2742	2816	74	Аргилити, алевролити и органогенни варовици
Горнодъбнишка свита (Т₃′)	2816	2909	93	Аргилити пъстроцветни с прослойки от пясъчници и пласт от ахид- рити
Горнодъбнишка свита (Т ₃ [°])	2909	3027	118	Аргилити пъс- троцветни, към основата сиви и варовити
Преславска свита (Т ₃ ^{к2-3})	3027	3114	87	Доломити тъм- носиви, гли- нести и анхид- рити бели до сивобели в редуване
Русиновделска свита (Т ₃ ^{к2-3})	3114	3220	106	Варовици, доломитизирни варовици и доломити
Митровска свита (T ₂ ¹ +T ₃ ^{k1})	3220	3355	135	Аргилити и варовици
Долнодъбнишки член на Дойрен- ска свита (T₂a)	3355	3550	195	Доломити поресто- кавернозни и напукани

И за трите сондажа Анизът е представен от порести, кавернозни и напукани доломити с доказана промишлена нефтогазоносност, като за находище Долни Дъбник дебелината им е около 150 m, а за Горни Дъбник – около 60 m. При зарязан нов ствол във всеки от сондажите трябва да се прегледат направените кавернограми преди обсаждане с 5 3/4" обсадна колона (Грозев и Георгиев, 2008; Фонд на Дирекция "Проучване", 2008). На фиг. 1, 2 и 3 са дадени сегашните конструкции след прокарването и завършването на сондажитеа на фиг. 4, 5 и 6 - съответните инклинограми, които ни ориентират къде да бъдат точките на отклоненията им (Фонд на Дирекция "Проучване", 2008).

Наличните данни за съвременните технологично и техническо състояния на сондажите – време и дебити на последните добиви, резултати от промишлени изпитвания, проходимост на вертикалния ствол и т.н. дават възможност да се пристъпи към избиране на мястото на споменатите по-горе характерни точки на профила, който ще се зарязва. Географските координати на устията на трите сондажа са показани в сравнителна таблица (табл. 4) между по-старата и все още използвана у нас ГКС (Геодезична кооординатна система) и по-новата WGS-84 (World Geodetic System).

След това трябва да се определят две характерни точки от новия ствол – точка на обсаждане и на забой. Първата от тях е важна по две причини: 1) след достигането й сондажът трябва да се обсади и по-нататък да се прокара с олекотена промивна течност, поради наличието на анома-

Таблица 2.

Разрез под	точката на	отклоняване	за сондаж	Р-2 Долни
Дъбник				

Дъ Формация		очина, n	Дебелина, m	Литология
Каспичанска свита (К1 ^b)	от 2300	до 2468	168	Варовици и доломити
Плевенска свита (J ₂ ^{cf} +J ₃)	2468	2690	222	Варовици
Озировска свита (J ₁ -J ₂)	2690	2766	76	Аргилити, алевролити и органогенни варовици
Горнодъбнишка свита (Т₃ ^ґ)	2766	2876	110	Аргилити пъст- роцветни с про- слойки от пя- съчници и пласт от анхидрити
Горнодъбнишка свита (Т ₃ [°])	2876	2996	120	Аргилити пъст- роцветни, към основата сиви и варовити
Преславска свита (Т ₃ ^{k2-3})	2996	3087	91	Доломити тъм- носиви, глинес- ти и анхидрити бели до сиво- бели в редуване
Русиновделска свита (Т ₃ ^{k2-3})	3087	3176	89	Варовици, доломитизирани варовици и доломити
Митровска свита (T ₂ ¹ +T ₃ ^{k1})	3176	3283	107	Аргилити и варовици
Долнодъбнишки член на Дой- ренска свита (T ₂ ^a)	3283	3389	106	Доломити поресто- кавернозни и напукани

Таблица 3.

Разрез под точката на отклоняване за сондаж Р-3 Горни Дъбник

Формация	Дълбочина, m		Дебелина, m	Литология	
	ОТ	до			
Плевенска свита (J ₂ ^{сf} +J ₃)	2650	2742	92	Варовици	
Озировска свита (J ₁ -J ₂)	2742	2782	40	Аргилити, алев- ролити и органо- генни варовици	
Козлодуйска свита (Т ₃ ^{n+r})	2782	3134	352	Аргилити пъст- роцветни, на места сиви и варовити, с прослойки от пясъчници	
Преславска свита (Т ₃ ^{k2-3})	3134	3223	89	Доломити тъм- носиви, глинести и анхидрити бели до сивобли в редуване	
Русиновделска свита (Т ₃ ^{к2-3})	3223	3303	80	Варовици, доло- митизирани варовици и доломити	
Митровска свита (T ₂ ¹ +T ₃ ^{k1})	3303	3392	89	Аргилити и варовици	
Долнодъбнишки член на Дой- ренска свита (T ₂ ^a)	3392	3448	56	Доломити порес- то-кавернозни и напукани	



Фиг. 1. Конструкция на сондаж Р-1 Долни Дъбник



Фиг. 2. Конструкция на сондаж Р-2 Долни Дъбник



Фиг. 3. Конструкция на сондаж Р-3 Горни Дъбник



Фиг. 4. Инклинограма за сондаж Р-1 Долни Дъбник



Фиг. 5. Инклинограма за сондаж Р-2 Долни Дъбник



Фиг. 6. Инклинограма за сондаж Р-3 Горни Дъбник

лно ниско пластово налягане в продуктивния хоризонт вследствие дългогодишната експлоатация и 2) риск от замърсяване на хоризонта. Тази точка е най-добре да бъде. Това трябва да стане на не повече от 10 m над горнището на Средния Триас – Аниз. Така избраните за 3-те сондажа точки на обсаждане с координатите си са дадени в Табл. 5.

Таблица 4.

Координати на устията на сондажите с проектирано отклонение

Сондаж	FKC/1950	WGS-84
Р-1 Долни Дъбник	X=4 811 895,98 Y=5 293 666,27	X=4 809 852,437 Y= 293 634,682
Р-2 Долни Дъбник	X=4 810 899,58 Y=5 294 746,10	X=4 808 856,413 Y= 294 714,072
Р-3 Горни Дъбник	X=4 813 743,56 Y=5 287 826,10	X=4 811 699,385 Y= 287 796,834

Таблица 5.

Координати на точката на обсаждане на новия зарязан ствол за разглежданите сондажи

Сондаж	FKC/1950	WGS-84
Р-1 Долни Дъбник	X=4 811 610,001 Y=5 293 330,000	X=4 809 566,576 Y= 293 298,539
Р-2 Долни Дъбник	X=4 810 675,000 Y=5 295 040,000	X=4 808 631,916 Y= 295 007,853
Р-3 Горни Дъбник	X=4 813 725,000 Y=5 287 750,000	X=4 811 680,834 Y= 287 720,764

В табл.6 са дадени координатите на втората характерна точка за трите сондажа – забоят. Избрани са по технологични и технически съображения – площ на дрениране, технически възможности за изпълнение, безаварийни операции и т.н. Допустимите отклонения при достигането на тези точки са съответно до 30 m за първата и до 50 m за втората.

Таблица 6.

Координати на точката забой на новия зарязан ствол на разглежданите сондажи

Сондаж	FKC/1950	WGS-84
Р-1 Долни Дъбник	X=4 811 615,000 Y=5 293 205,000	X=4 809 571,576 Y= 293 173,588
Р-2 Долни Дъбник	X=4 810 655,000 Y=5 295 075,000	X=4 808 611,924 Y= 295 042,839
Р-3 Горни Дъбник	X=4 813 710,000 Y=5 287 735,000	X=4 811 665,840 Y= 287 705,769

Важен параметър на всеки зарязан нов ствол е и т.нар. зенитен ъгъл – ъгълът между вертикалната ос, минаваща през началната точка на отклонение и линията по посока на профила. В процеса на изпълнение на отклоняването, обикновено стойността на зенитния ъгъл се разминава с проектираната по различни причини и затова е нужно периодично да се контролира и да се правят необходимите корекции, ако профилът се отклонява от координатите на точките за обсаждане и забой (Грозев и Георгиев, 2008).

С изключение на продуктивния хоризонт, по цялата дълбочина на стволовете на сондажите пластовите налягания са нормалните хидростатични. В скалите на Аниза, където са и Горно- и Долнодъбнишкият нефтени залежи, последните замери показват съответно около 302 kg/cm² и 280 kg/cm². Следователно имаме около 20 kg/cm² по-ниско за находище Горни Дъбник и около 40 kg/cm² по-ниско за находище Долни Дъбник. И двата залежа са от масивен тип, вместени са в карбонатен и силно напукан колектор и режимът им на работа е еластично-водонапорен. Така водонапорната система частично компенсира спадането на пластовото налягане, вследствие дългогодишната експлоатация.

Предвижданият способ на експлоатация и за 3-те сондажа, след извършване на отклоненията, е дълбочиннопомпен, т.е. чрез компресорни тръби и дълбочинни центробежни помпи.

Проектни отклонения на избраните сондажи

Целта на зарязаните нови стволове на сондажите е достигане на недренирани участъци (целици) и изпомпване на остатъчния нефт. Отклонението на сондаж Р-1 Долни Дъбник ще започне от 2300 m. По конструкция експлоатационната колона Ф5¾" е в интервал 0÷3329 m, като ще се среже на дълбочина 2350 m и секцията до устието ще се извади. Така ще остане техническата колона Ф11¾ в интервала 0÷1712 m., а в интервала 1712÷2350 m ще има открит ствол с диаметър Ф10%". Отклонението ще се зареже след поставяне на циментов мост в интервал 2300÷2350 m и ще се извърши на два етапа. Първият е на дълбочина от 2300 до 5 m над горнището на продуктивния хоризонт, със среден зенитен ъгъл 300, азимут 2380 и хоризонално изместване 500 m. След този етап трябва да се спусне обсадна колона Ф5¾", циментирана до устието. Във втория етап отклонението трябва да достигне крайната дълбочина 3550 m, при среден зенитен ъгъл 30°, азимут 270° и хоризонтално изместване 125 m. Дълбочината 3550 те избрана в съответствие с началния ВНК на залежа.

Аналогично, отклонението на сондаж Р-2 Долни Дъбник ще започне от 2300 m. Експлоатационната колона Ф5³/4" е в интервал 0÷3318 m. Тя отново ще се среже на дълбочина 2350 m и секцията до устието ще се извади. Тук ще остане техническата колона Ф8⁵%" в интервала 0÷1723 m, а в интервала 1723÷2350 m. Ще има открит ствол с диаметър Ф71/2". След поставяне на циментов мост в интервал 2300÷2350 m. ще се прокара новият ствол. Това също ще стане на два етапа. Първият - в интервала от 2300 до 5 m над горнището на продуктивния хоризонт, със среден зенитен ъгъл 15°, азимут 116° и хоризонтално изместване 300 m. След този етап трябва да се спусне Ф5¾" обсадна колона, циментирана до устието. Във втория етап отклонението трябва да достигне 3389 m, при среден зенитен ъгъл 190, азимут 1160 и хоризонтално изместване 40 m (Грозев и Георгиев, 2008).

Целта на зарязването на нов ствол в сондаж Р-3 Горни Дъбник е да се достигне по-високо издигнат, обособен купол от Горнодъбнишкото нефтено находище, за да се добие нефт от него. Точката на отклонение на този сондаж е на дълбочина 2650 m, а както при предходните, експлоатационната обсадна колона Ф5³/4"</sup> ще се среже и извади от дълбочина 2700 m до устието. В сондажа остава техническа колона Ф8⁵/6", която е скрита и е в интервал 1316÷2716 m. След поставяне на циментов мост на дълбочина 2650 m, може да се зареже новият ствол. Подобно и на другите проекти, отклонението ще е на два етапа. Първият – от 2650 m до горнището на Аниза (3390 m), със среден зенитен ъгъл 20⁰, азимут 233⁰ и хоризонтално изместване 250 m, след което стволът ще се обсади. Вторият етап цели достигане на крайната дълбочина 3448 m, при среден зенитен ъгъл 20°, азимут 233° и хоризонтално изместване 20 m.

Преди изпълнението на проектите за отклонение на сондажите трябва да се подготви и програма за сондажногеофизични изследвания и да се осигури информация за геоложки усложнения при зарязването (интервали на обрушване, поглъщане, подуване на скалите и т.н.), прогнозирани пластови температури и отделни планове за провеждане на повторни промишлени изпитвания. Част от тези данни са представени в табл. 7.

Таблица 7.

Данни за евентуални проблеми и СГИ по време на зарязването на новите стволове

Проблем/	Р-1 Долни	Р-2 Долни	Р-3 Горни
Операция	Дъбник	Дъбник	Дъбник
СЕИ	Детайлни	Детайлни	Детайлни
0171	изследвания	изследвания	изследвания
Обрушване	2740÷3355 m	2690÷3283 m	2742÷3390 m
Загуба на циркулация	3355÷3550 m	3283÷3390 m	3390÷3448 m
Проявления	3355÷3550 m	3283÷3390 m	3390÷3448 m

Заключение

Съвременните методи на наклонено-насоченото сондиране могат да променят изцяло научния подход към нефтените и газовите находища в България. Като се анализира информацията, натрупана за тях, може с голяма успеваемост да се зарежат нови стволове в тези сондажи, около които има недренирани участъци или които са аварирали още в периода на постоянен добив. По този начин ще се удължи срокът на експлоатация на нашите находищата.

Литература

- Грозев, М. В., Ас. Георгиев. 2008. Планове за отклонения на сондажи от находища Долни Дъбник и Горни Дъбник. С., ПДНГ-АД.
- Фонд на Дирекция "Проучване" при ПДНГ-АД. 2008 г. "Инклинограми на сондажи от нефтените и газови находища в България", С., ПДНГ-АД.

Статията е рецензирана от доц. д-р. Мартин Грозев и препоръчана за публикуване от кат. "Сондиране, добив и транспорт на нефт и газ".