

ГОДИШНИК
НА
МИННО-ГЕОЛОЖКИЯ УНИВЕРСИТЕТ
«СВ. ИВАН РИЛСКИ» - СОФИЯ

Том 50
Свитък I: Геология и геофизика

ANNUAL
OF
UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY
“ST. IVAN RILSKI” – SOFIA

Volume 50
Part I: Geology and Geophysics



Издателска къща “Св. Иван Рилски”
Publishing House “St. Ivan Rilski”
София, 2007
Sofia, 2007

ISSN 1312-1820

РЕДАКЦИОННА КОЛЕГИЯ

доц. д-р Венцислав Иванов – главен редактор
доц. д-р Страшимир Страшимиров – зам. главен редактор
доц. д-р Руслан Костов - председател на редакционен съвет
доц. д-р Вяра Пожидаева – председател на редакционен съвет
доц. д-р Кръстю Дерменджиев - председател на редакционен съвет
доц. д-р Десислава Костова - председател на редакционен съвет
инж. Зоя Велева
инж. Теодора Христова

РЕДАКЦИОНЕН СЪВЕТ на Свитък I: Геология и геофизика

доц. д-р Руслан Костов – председател
доц. д-р Страшимир Страшимиров
доц. д-р Ради Радичев
доц. д-р Павел Пенчев
доц. д-р Димитър Синьовски
доц. д-р Георги Николов

Пред нас е **юбилейното 50-то издание на Годишника** на нашата минна и геоложка Алма Матер.

В годините, с развитието на нашето висше училище, с развитието на геологопроучвателното дело и минната промишленост, се развива и Годишникът на Минно-геоложкия университет “Св. Иван Рилски”.

От времето, когато излиза първото издание, съдържащо 12 публикации на учените, основатели на Университета, Годишникът претърпява съществени промени. Нараства броят на участниците, нараства броят и качеството на научните изследвания и публикации. Появяват се първите чуждестранни участници, за да се достигне до днешния му вид, състоящ се от четири свитъка, покриващи научното и информационното обслужване на отрасъла, съдържащи средно 125 публикации на 200 автора.

С чест и гордост отбелязваме, че в тези 50 издания са публикувани над 3500 научни труда, представящи изследванията на над 6000 наши автора – учени и производственици. В 450 от тези труда са представени над 590 колеги от чужбина. Публикувани са статии за изпълнени над 5500 национални и международни научноизследователски проекти, от които 2700 са внедрени в производството. Отпечатани са публикации, свързани с успешното защитаване на 530 дисертации на доктори и дтн.

Днес, чествайки този юбилеен Годишник, се прекланяме с почит и признателност пред делото на учените, творили и изследвали преди нас, пред техните приноси и активна професионална дейност, създали условията за превръщане на нашия Университет в съвременен комплексен учебен и изследователски център с авторитет у нас, в региона и света.

Доц. д-р Венцислав Иванов

Зам. Ректор

The **jubilee 50th edition of the Annual** of our mining Alma Mater is in front of us.

During the years, with the development of our high school, of the geological exploration and the mining industry, the Annual of the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski” has developed as well.

Since the moment, when the first issue containing 12 publications of the scientists - founders of the University has been printed, the Annual undergoes significant changes. There is a growth in the number of participants and in the quality of the scientific research and publications. The first foreign participants appear and its current description consists of four scrolls covering the scientific and informational service, comprising on average 125 papers by 200 authors.

With honor and pride, we record that over 3500 scientific papers, representing the research of more than 6000 authors of ours – scientists and engineers have been published in these 50 issues.

Implementation of more than 5500 national and international scientific and research projects, 2700 of which have been introduced in practice, have been published. A number of papers connected with the successful defenses of 530 PhD and DSc dissertations have been published.

Today, celebrating this jubilee Annual, with respect and gratitude, we bow down to the contributions and active professional activity, to the life-work of the scientists, who have been working and studying before us, creating the conditions for the transformation of our University into a modern complex educational and research centre, prestigious in Bulgaria, the region and the world.

Assoc. Prof. Dr. Ventzislav Ivanov

Vice-rector

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

Раздел 1 – Геология, минералогия и полезни изкопаеми

Балинов, В., М. Дончева, Е. Занева-Добранова. Геоложки предпоставки за съхраняване на природен газ във водоносни структури в палеогенския разрез от Варненската моноклинала и Долнокамчийското понижение (принципи и методични подходи)	9
Банушев, Б., С. Банушев. Хиалокластити от Вискяр планина, Западно Средногорие	15
Банушев, Б., З. Цинцов. Ахатови геоди от района на с. Татарево, Източни Родопи	23
Василева, М., К. Русков. Калциев филоманганат (рансицит) от железнорудното находище Кремиковци	29
Герджиков, Я. Севернородопска екстензионна система: фокус върху разреза при Пещера	37
Димитров, Х. Анализ на относителните изменения на морското ниво в Долнокамчийския седиментен басейн (морската част) през среднокъсноеоценската и олигоценската епоха	43
Кортенски, Й., А. Здравков, Д. Пиналова. Прилагане на международната класификация на въглища в пласта и международната кодификационна система за въглища от Струмско-местенската провинция	49
Костов, Р. И. Химичен състав на нефритови неолитни артефакти от България в сравнение с анализи от световни находища	55
Паздеров Р., Петър Петров, Петко Петров. Геоложки строеж, фазиеси и промишлени сортове пясък в находище „Лисия“, Софийско	61
Петров, П. И. Възможности за употреба на каолин-кварцовите пясъци от находище „Колобър“, Силистренска област	67
Трифенова, М. Методика на инфрачервената спектрометрия и приложение в изследванията на хидротермалните промени във високосулфидни системи	71
Ajdanlijsky, G. Sedimentary cyclicity in the rocks from Iskar Carbonate Group from the Western Stara Planina area – one example from the section near Ravna village, Montana district, Bulgaria	77
Batistatu, M. V. Romanesti Structure, a subtle trap case study	81
Batistatu, M. V., I. Mălureanu. Overpressures generating processes in Oligocene oilfields of Romania	85
Georgiev, V., P. Milovanov. Petrochemical peculiarities of the Cham Dere Paleogene magmatic group, Eastern Rhodopes	89
Georgiev, V., P. Milovanov. Distribution of some rare elements in the Cham Dere Paleogene magmatic group, Eastern Rhodopes	95
Kostov, R. I. Notes and interpretation on the ‘Thracian stone’ in ancient sources	99
Simić, M., A. Antonović. New view on the structural pattern of Metohiya basin and its margin	103
Stoykov, S., M. Harizanov, V. Zlatanov. Geology, chemistry composition and prepared bentonite and activated bentonite clay from Deposits “Propast – Dobrovolets”, Kardjali applicability in drilling operation	111
Stoykov, S., S. Strashimirov, R. Moritz, D. Dimitrov, J. Todorov. Mineral composition of the Breznik-Bardoto AU-epithermal ore occurrence (preliminary data)	117
Tahawneh, K., S. Al-Thyabat, M. Al-Haraseheh. Mineralogical, physical and mechanical properties of limestone rocks in Ma’an area, South Jordan	123
Valchev, B. Midway-type benthic foraminifera from the Paleocene of the coastal part of East Stara Planina (Eastern Bulgaria). Family Textulariidae Ehrenberg, 1838 to Family Stilostomellidae Finlay, 1947	129

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

Борисова, Д. Сравнение между отражателните спектри на гранити получени с различна спектрометрична апаратура	139
Бояджиев, М. М., М. Х. Харизанов. Теоретични и стендови изследвания за определяне коефициента на хидравлично съпротивление при движение на газ в полиетиленови тръби използвани за изграждане на газоразпределителни мрежи	145
Геров Л., Л. Георгиев. Анализ на методите за определяне режима на газови залежи в началния етап на разработка	153
Димовски, С. Подход и алгоритъм за цифрово кодиране на геоложка информация	159
Кръстев, Н., П. Ставрев, Р. Радичев, В. Станчев, В. Гурев. Първи гравиметрични изследвания в района на Българската Антарктическа База на о-в Ливингстон	165
Радичев, Р., С. Димовски. Изследвания върху спецификата в разпределението на коефициента на корелация при съпоставяне на геофизични полета	171
Стоянов, Н. Т. Миграционни характеристики на твърдия отпадък (пепелината), отделян при експлоатацията на ТЕЦ	177
Calcan, G. Aspects of technical progresses in Romanian petroleum industry in the inter-war period: Drilling	183
Groudev, S. N., I. I. Spasova, M. V. Nicolova, P. S. Georgiev. Bacterial leaching of black shale copper ore	187
Groudev, S. N., I. I. Spasova, M. V. Nicolova, P. S. Georgiev, A. T. Angelov. Biological and chemical leaching of non-ferrous and precious metals from electronic scrap	191

Varia

Вацев, М. 55 години (1951-2006) от създаването на катедра „Геология и палеонтология” при Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски”, София	195
Айданлийски, Г. Въвеждане на калкретите – от микроморфология до басейнов анализ	201
Доцент доктор Милорад Делчев Вацев навърши 70 години	203
In Memoriam (85 години от рождението на проф. дгн Тома Добрев)	205
In Memoriam (95 години от рождението на проф. Любен В. Димитров)	207

CONTENTS

Part 1 – Geology, Mineralogy and Mineral Deposits

Balinov, V., M. Doncheva, E. Zaneva-Dobranova. Geological preconditions for natural gas storage in water-bearing structures in paleogene in the Varna monoklinale and the Dolna Kamchia depression (principles and methodical approaches)	9
Banushev, B., S. Banushev. Hyaloclastites from the Viskiar Mountain, Western Sredna Gora	15
Banushev, B., Z. Tsintsov. Agate geodes from Tatarevo village region, Eastern Rhodopes	23
Vassileva, M., K. Ruskov. Ca-phylломanganate (rancieite) from the Kremikovtsi iron deposit	29
Gerdjikov, Ia. North Rhodopian extensional system: focus on the Peshtera section	37
Dimitrov, H. Analysis of relative changes of the sea level in the Kamchia sedimentary basin (offshore part) during the Middle-late eocene and Oligocene epoch	43
Kortenski, J., A. Zdravkov, D. Pinalova. Applying the International Classification of in-Seam Coals and International Codification System to some coals from the Strouma-Mesta coal province	49
Kostov, R. I. Chemical composition of nephrite Neolithic artifacts from Bulgaria in comparison to analyses from world deposits	55
Pazderov, R., Petar Petrov, Petko Petrov. Geological setting, facieses and industrial sorts sand in the 'Lisiya' deposit, Sofia district	61
Petrov, P. I. The kaolin-quartz sand of the 'Kolobar' deposit, Silistra district – opportunities for use	67
Trifonova, M. Application of the method of infra-red spectroscopy in the study of hydrothermal alterations in high-sulphide systems	71
Ajdanlijsky, G. Sedimentary cyclicity in the rocks from Iskar Carbonate Group from the Western Stara Planina area – one example from the section near Ravna village, Montana district, Bulgaria	77
Batistatu, M. V. Romanesti Structure, a subtle trap case study	81
Batistatu, M. V., I. Mălureanu. Overpressures generating processes in Oligocene oilfields of Romania	85
Georgiev, V., P. Milovanov. Petrochemical peculiarities of the Cham Dere Paleogene magmatic group, Eastern Rhodopes	89
Georgiev, V., P. Milovanov. Distribution of some rare elements in the Cham Dere Paleogene magmatic group, Eastern Rhodopes	95
Kostov, R. I. Notes and interpretation on the 'Thracian stone' in ancient sources	99
Simić, M., A. Antonović. New view on the structural pattern of Metohiya basin and its margin	103
Stoykov, S., M. Harizanov, V. Zlatanov. Geology, chemistry composition and prepared bentonite and activated bentonite clay from Deposits "Propast – Dobrovolets", Kardjali applicability in drilling operation	111
Stoykov, S., S. Strashimirov, R. Moritz, D. Dimitrov, J. Todorov. Mineral composition of the Breznik-Bardoto AU-epithermal ore occurrence (preliminary data)	117
Tahawneh, K., S. Al-Thyabat, M. Al-Harasheh. Mineralogical, physical and mechanical properties of limestone rocks in Ma'an area, South Jordan	123
Valchev, B. Midway-type benthic foraminifera from the Paleocene of the coastal part of East Stara Planina (Eastern Bulgaria). Family Textulariidae Ehrenberg, 1838 to Family Stilostomellidae Finlay, 1947	129

Part 2 – Geophysics, Hydrogeology, Drilling and Oil and Gas Production and Geoecology

Borisova, D. Correlation between granite reflectance spectra obtained through different sources	139
Boiajiev, M. M., M. H. Harizanov. Theoretical and experimental study for determination of the hydraulic friction factor in case of gas transport in PE-HD pipeline for gas distribution systems	145
Gerov L., L. Georgiev. Analysis of the methods for regime determining of gas fields in the beginning stage	153
Dimovski, S. Approach and algorithm for numerical coding of geological information	159
Krastev, N., P. Stavrev, R. Radichev, V. Stanchev, V. Gourev. First gravimetric studies in the area of the Bulgarian Antarctic base at Livingstone Island	165
Radichev, R., S. Dimovski. A study over the specifics in the distribution of the correlation coefficient between geophysical fields	171
Stoyanov, N. T. Mass-transport parameters of the ash released from coal burning at a thermoelectric power plant	177
Calcan, G. Aspects of technical progresses in Romanian petroleum industry in the inter-war period: Drilling	183
Groudev, S. N., I. I. Spasova, M. V. Nicolova, P. S. Georgiev. Bacterial leaching of black shale copper ore	187
Groudev, S. N., I. I. Spasova, M. V. Nicolova, P. S. Georgiev, A. T. Angelov. Biological and chemical leaching of non-ferrous and precious metals from electronic scrap	191
<i>Varia</i>	
Vatsev, M. 55 years (1951-2006) since the foundation of the chair “Geology and Paleontology” at the University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia	195
Ajdanlijsky, G. Introducing calcretes – from micromorphology to basin analysis	201
Assoc. Prof. Dr. Miloras Delchev Vatsev at the age of 70	203
In Memoriam (85 years since the birth of Prof. Dr. Sc. Toma Dobrev)	205
In Memoriam (95 years since the birth of Prof. Luben Dimitrov)	207

ГЕОЛОЖКИ ПРЕДПОСТАВКИ ЗА СЪХРАНЯВАНЕ НА ПРИРОДЕН ГАЗ ВЪВ ВОДОНОСНИ СТРУКТУРИ В ПАЛЕОГЕНСКИЯ РАЗРЕЗ ОТ ВАРНЕНСКАТА МОНОКЛИНАЛА И ДОЛНОКАМЧИЙСКОТО ПОНИЖЕНИЕ (ПРИНЦИПИ И МЕТОДИЧНИ ПОДХОДИ)

Васил Балинов, Мариана Дончева, Ефросима Занева-Добранова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700; geoenergy@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Подземното съхраняване на природен газ във водоносни пластове представлява перспективен метод за условията на България. Прилагането му е свързано със значителни рискове, произтичащи от същността на метода – създаване на изкуствена газова акумулация, която да отговаря на определени критериални показатели, характерни за подземните газови хранилища. Тези показатели имат свои специфични особености и измерения при конкретни геоложки условия и при зададени технологични и технико-икономически показатели на потенциалните газови хранилища. В настоящата работа, на примера на палеогенските наслаги от източната част на Мизийската платформа (Варненската моноклинала и Долнокамчийското понижение) са представени основните принципи и методичните подходи при изучаване на възможностите и перспективите за изграждане на подземни хранилища. Разработени са основните принципи за оценка, анализ и обобщаване на информацията, които са основани на логиката на изследователския процес. За целите на комплексната оценка на потенциални обекти, които отговарят на разработените критериални показатели, са предложени класификационни схеми по няколко базови показатели: капацитивни възможности на потенциалния продуктивен хоризонт; степен на изученост и степен на подготвеност за опитно-промишлено нагнетяване.

GEOLOGICAL PRECONDITIONS FOR NATURAL GAS STORAGE IN WATER-BEARING STRUCTURES IN PALEOGENE IN THE VARNA MONOKLINALE AND THE DOLNA KAMCHIA DEPRESION (PRINCIPLES AND METHODIC APPROACHES)

Vassil Balinov, Mariana Doncheva, Efrosima Zaneva-Dobranova

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

ABSTRACT. The underground storage of natural gas in water-bearing layers is a perspective method for the conditions of Bulgaria. Its applying is connected with significant risks resulting from the essence of the method – creating an artificial gas accumulation that corresponds to certain criteria parameters characteristic of the underground gas storages. This parameters show specific features and dimensions under concrete geological conditions and at given technological and technical-economical parameters of the potential gas storages. In the present work, the basic principles and the methodic approaches in studying the possibilities and the perspectives for building underground storages are presented after the example of the Paleogene deposits from the eastern part of the Moesian platform (Varna monocline and Dolna Kamchia depression). The basic principles of evaluation, analysis and generalization of the information are worked out. They are based on the logics of the investigation process. For the purposes of the complex evaluation of potential objects that correspond to the worked out criteria parameters, classification schemes based on several basic parameters are proposed: capacitive possibilities of the potential productive horizon; degree of studying and degree of preparation for empirical-industrial injection.

Въведение

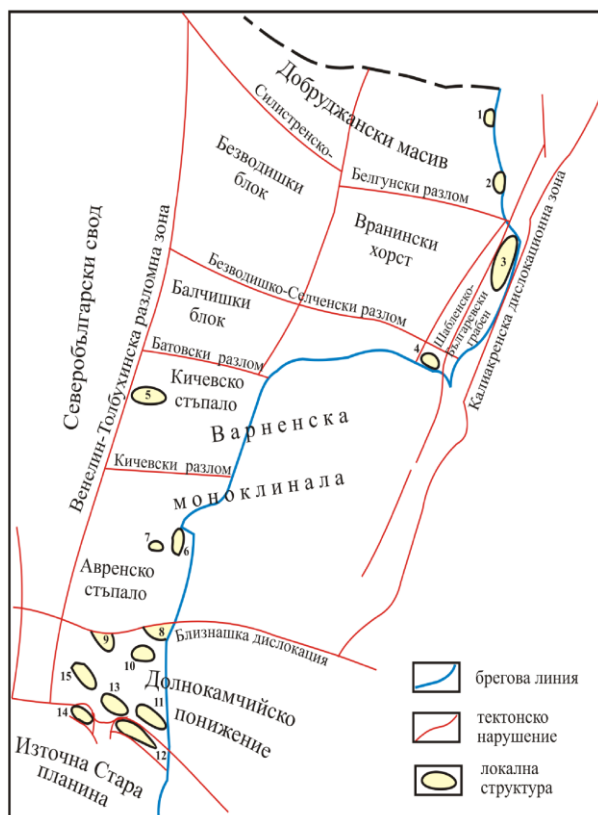
Проблемът за подземното съхраняване на природен газ, в условията на динамично развиващия се газов пазар, е изключително актуален. България заема стратегическо място в транзитния пренос за балканските, а в близка перспектива и за европейските страни. Това налага изграждането на нови хранилища у нас. В това отношение перспективен, за условията на нашата страна, е методът за съхраняване на природен газ във водоносни пластове.

В настоящата работа са изложени принципните постановки и методичните подходи, които са приложени за конкретен район от територията на България. Те са съобразени с логиката на изследователския процес, както

и със спецификата на геоложките условия, предполагащи избора на подходящи за целта природни капани. Следвайки тази логика, специално внимание се отделя на основните критериални показатели при избора на обектите за нагнетяване на газ. Те са съобразени с особеностите на методите за изграждане на ПГХ и геоложкия риск при създаването на изкуствени газови акумулации.

Получената на различни етапи от геологопроучвателните и изследователските работи информация е анализирана и оценена от гледна точка на поставените цели. Специалните изследвания са проведени на основата на съвременните представи за дълбочинния строеж на разглежданата територия, литостратиграфската подялба на терциерните наслаги и свързаните с тях резервоарни системи. Чрез съпоставяне на структурните планове по

определени стратиграфски нива, с дефинираните природни резервоари, са очертани локалните структури, към които са привързани природни капани от структурен тип (фиг. 1). Те представляват потенциални обекти за изграждане на ПГХ.



Фиг. 1. Тектонска схема и локални структури

На базата на приети критериални показатели е направен предварителен избор на възможно перспективни капани, а оценяваните локални структури са класифицирани по степен на перспективност. Окончателните оценки са извършени след детайлни изследвания на възможно перспективните капани. На основата на извършения сравнителен анализ изучаваните природни капани са класифицирани по степен на пригодност за съхраняване на природен газ, по капацитивни възможности и по степен на подготвеност за опитно-промишлено нагнетяване и изграждане на ПГХ.

Оценка на информацията

Използваната в настоящето изследване информация е получена в резултат на проведените в значителен интервал от време (50-55 години) геологопроучвателни, изследователски и обобщителни работи. Поради това тя се характеризира с различна степен на актуалност, представителност и детайлност; неравномерност по отношение на изучаваните обекти и др. Като илюстрация ще посочим няколко примера: 1) нееднозначна интерпретация на сеизмичните изследвания от различни автори; 2) отсъствие на достатъчен обем информация за тектонската нарушеност на локалните структури; 3) нееднозначност (често и противоречивост) на част от

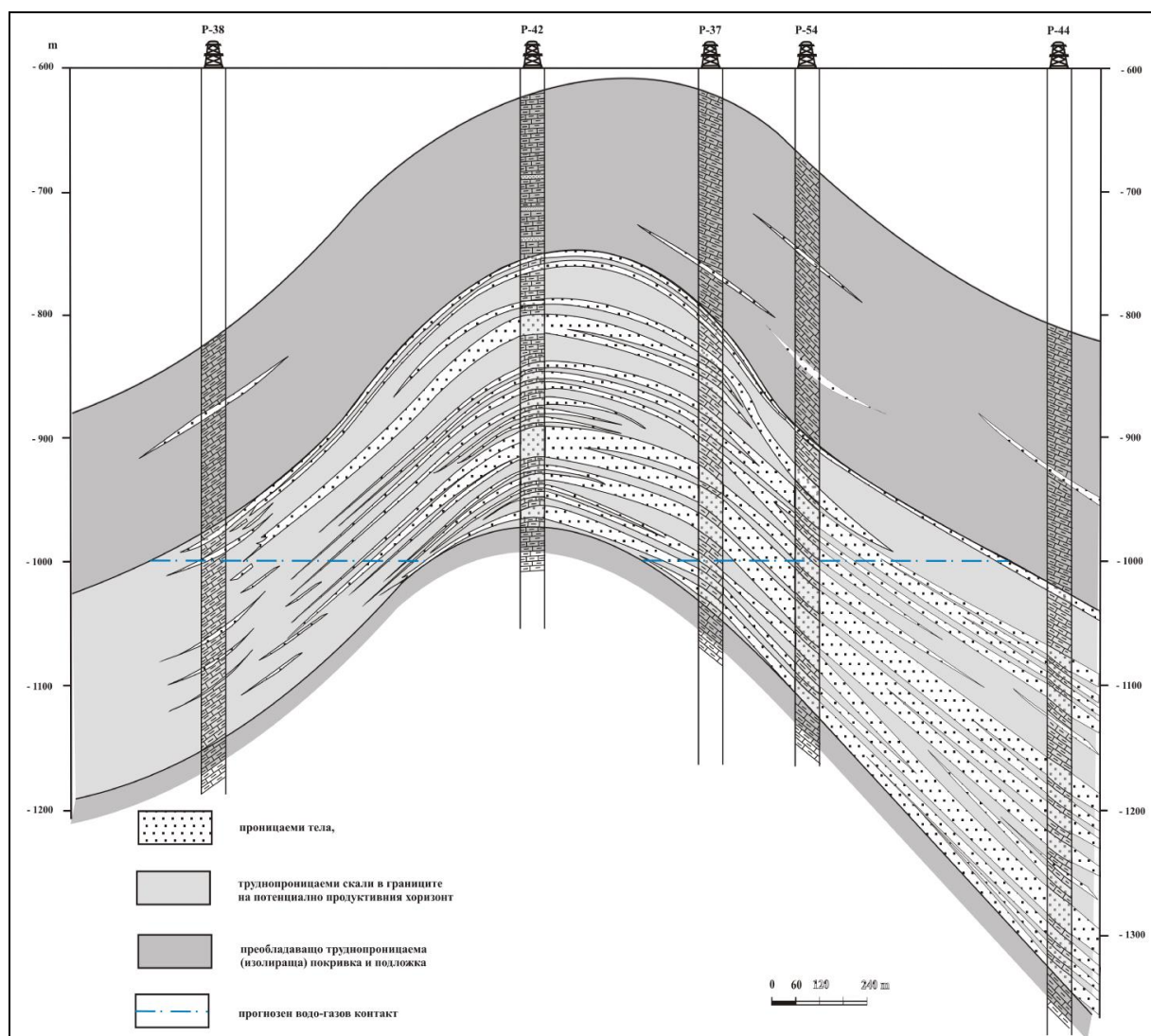
хидрогеоложката и хидрохимичната информация; 4) различна степен на изученост на локалните структури; 5) отсъствие или непредставителност на детайлните геофизични изследвания в по-голямата част от сондажите; 6) отсъствие или крайно недостатъчна информация за изолиращите свойства на покривките и др. Посочените обстоятелства налагат провеждането на значителен обем допълнителни изследвания, с използване на съществуващата и нова първична информация. Те се отнасят основно до реинтерпретация на електрометричните изследвания в сондажните разрези: актуализация на литоложкото разчленение на сондажните разрези и уточняване на хроно- и литостратиграфските граници; актуализация на литолого-физичното разчленение на сондажните разрези и уточняване поведението на дефинираните резервоарни системи (дебелини, площно развитие и пространствени взаимоотношения); изясняване на структурното положение на резервоарните системи; изучаване строежа на потенциалните продуктивни хоризонти и изолиращите ги покривки; оценка на порестостта и ефективните дебелини на потенциално продуктивните хоризонти и др.

На фиг. 2, в качеството на илюстрация, е показан строежът на потенциално продуктивен хоризонт от палеогенския разрез в Долнокамчийското понижение. Взаимоотношенията между проницаемите и труднопроницаемите скали са изяснени в резултат на проведеното детайлно литолого-физично разчленение на сондажните разрези.

Критериални показатели

Изборът на водоносни структури за съхраняване на природен газ е съобразен с известните в съвременната теория и практика изисквания (Ширковский, Задора, 1974; Правила, 1986; Ермилов и др., 1996; Study..., 1999; Казарян, 2006), произтичащи от същността на метода и от специфичните геоложки особености на изучаваната територия. По същество методът се свежда до създаването на изкуствени акумулации, чрез нагнетяване на природен газ от магистралния газопровод във водоносни пластове. Образуваният газов залеж се оборудва за циклична експлоатация (добив и нагнетяване). Това определя спецификата по отношение на критериите за избор на подходящи обекти, в сравнение с естествените въглеводородни акумулации. Те могат да бъдат отнесени към две групи. Първата обхваща основните предпоставки, свързани с възможностите за формиране на промишлени газови акумулации. Втората група критерии са аналогични или близки до използваните при избора на подходящи обекти, свързани с изтощени или намиращи се в експлоатация находища.

Към **първата група** се отнасят: а) наличието на природни капани, способни да акумулират промишлени количества природен газ; б) типът на капаните; в) хидрогеоложките условия.



Фиг. 2. Строеж на потенциално продуктивен хоризонт, привързан към локална структура в палеогенския разрез от Долнокамчийското понижение

Наличието на подходящи *природни капани* в изучаваните седиментни разрези се определя от геоложките условия: присъствие на проницаеми и труднопроницаеми скали с благоприятни колекторни и изолиращи качества; благоприятни пространствени взаимоотношения между колекторните и изолиращите скали, обезпечаващи формирането на резервоарни системи; благоприятни структурно-тектонски условия, обуславящи формирането на природни капани; благоприятно съчетание на геоложките условия, обуславящи херметичност на природните капани.

Възможностите за акумулиране на промишлени количества газ се определят от: геометрията на природните капани; строежа и физичните свойства на колекторните скали и възможностите за реализиране на необходимите налягания на нагнетяване на газа, превишаващи хидростатичното налягане.

Посочените показатели определят в значителна степен възможният ефективен обем на потенциалните продуктивни хоризонти, обемите на съхранявания газ и производителността на експлоатационните сондажи. Промислената характеристика на потенциалните газове

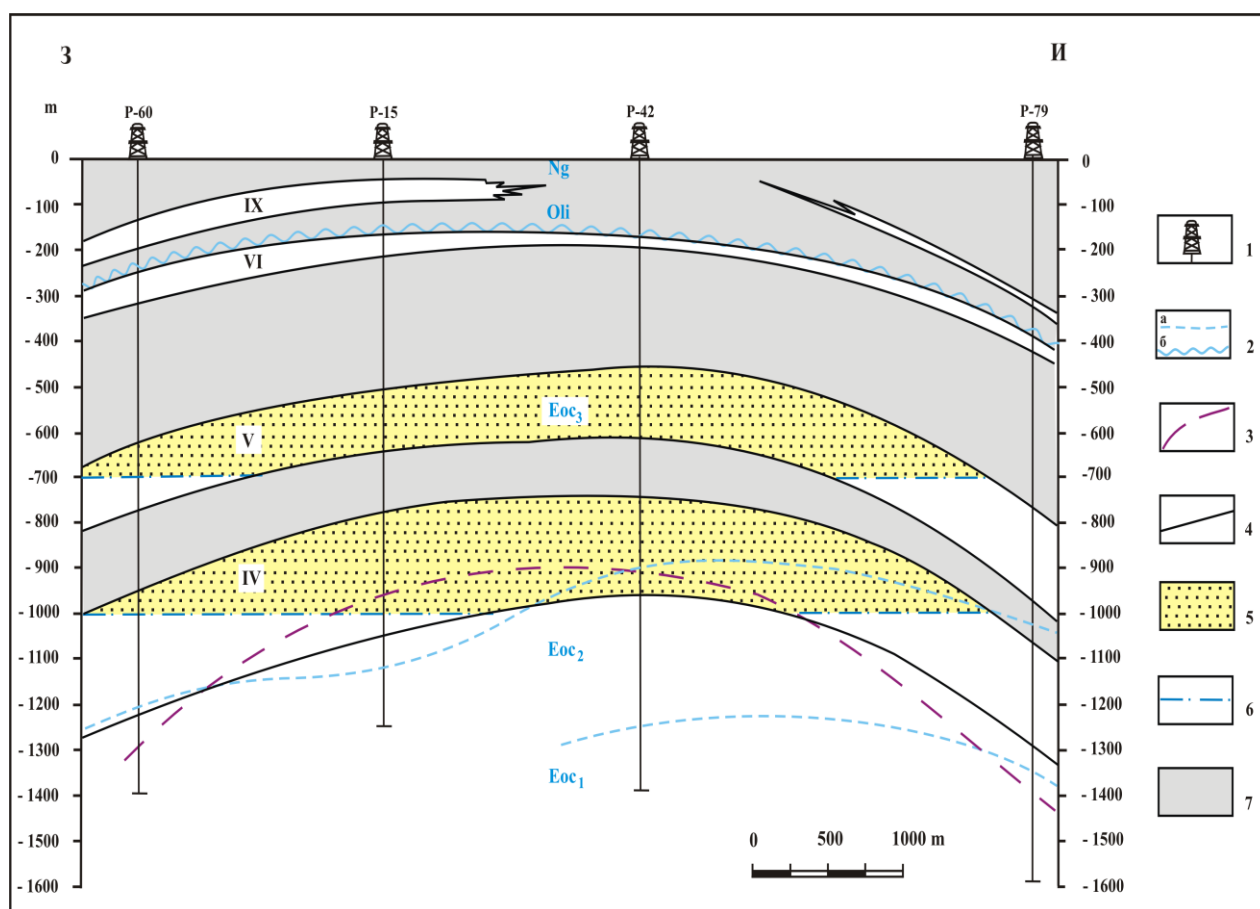
аккумуляции зависи, също така, от условията на тяхната реализация (при закрыта или открита водонапорна система).

Изборът на подходящ *тип природни капани* е свързан основно със значителния риск при изграждането на ПГХ във водоносни пластовете. Поради това този риск трябва да бъде възможно най-малък. Такива възможности се очертават при природните капани, чиито характеристики подлежат на прогнозиране при геологопроучвателните работи. Такива са класическите капани от структурен тип, привързани към позитивни структури, при отсъствие на тектонска нарушеност. Отклоненията от тези условия и особено наличието на тектонски нарушения поставят под съмнение херметичността на капаните и увеличават геоложкия риск. В още по-голяма степен това важи за капаните от неструктурен тип (стратиграфски, литоложки ограничени, комбинирани), които не подлежат на реални прогнозни оценки, относно възможностите за съхраняване на природен газ в тях. Поради това, в настоящето изследване, обект на оценки са природните капани от структурен тип.

Хидрогеоложките условия на локалните структури и свързаните с тях природни капани играят важна роля при тяхната оценка като потенциални обекти за съхраняване на природен газ. Освен от гледна точка на условията и възможностите за формиране и съхраняване на газови акумулации тази роля е важна и при обосновката и избора на метод за изграждане на ПГХ. В условията на отворена в хидродинамично отношение водонапорна система, формирането на газови акумулации се осъществява за сметка на изтласкването на водата към местата на дренране (разтоварване). При тези условия експлоатацията на потенциалните ПГХ се извършва при водонапорен режим. При затворена в хидродинамично отношение водонапорна система, формирането на газови акумулации се осъществява за сметка на еластичните свойства на пластовата система. При тези условия бъдещите ПГХ се експлоатират при еластичен или еластично-водонапорен режим. В зависимост от

конкретните геоложки условия формирането на газови акумулации, при затворени водонапорни системи, може да се реализира и чрез дренране посредством сондажи, разположени извън контурите на природния капан.

В условията на изключително сложния геоложки строеж на палеогенските наслаги в изучаваната територия, най-често посочените геоложки предпоставки за изграждане на ПГХ във водоносни пластовете, не се намират в особено благоприятни съчетания. Независимо от това могат да бъдат набелязани редица, различаващи се по степен на пригодност структури и свързани с тях природни капани, които представляват определен интерес. Като илюстрация на фиг. 3 са показани възможно перспективни природни капани привързани към локална структура в палеогенския разрез от Долнокамчийското понижение.



Фиг. 3. Перспективни природни капани, привързани към локална структура в палеогенския разрез от Долнокамчийското понижение (1-сондаж; 2-стратиграфска граница; а-нормална; б-развивна; 3-граница между Еос2-Еос3; 4-граница между преобладаващо проницаемо и труднопроницаемо тяло; 5-потенциална газова акумулация; 6-прогнозен водо-газов контакт; 7-преобладаващо труднопроницаемо литолого-физично тяло)

По степен на перспективност, от гледна точка на присъствие в седиментния разрез на природни капани, отговарящи на основните изисквания и критериалните показатели за съхраняване на природен газ, локалните структури са класифицирани по следната схема:

1) перспективни: с присъствие в разреза на един или повече подходящи природни капани, разкрити с достатъчен брой сондажи;

2) възможно перспективни: с възможно присъствие в разреза на един или повече подходящи природни капани, разкрити с единични сондажи;

3) с неизяснена перспективност: установени по сеизмични данни и при наличието на геоложки предпоставки за присъствие на подходящи природни капани;

4) безперспективни: с доказано по сондажни данни или по геоложки съображения отсъствие на подходящи природни капани.

Към **втората група** предпоставки за избор на подходящи водоносни структури за съхраняване на природен газ се отнасят: а) мащабите на потенциалните ПГХ; б) географското положение на водоносните структури; в) дълбочината на природните капани; г) очакваната продуктивна характеристика на потенциалните ПГХ; д) възможностите за използване на съществуващите проучвателни сондажи при изграждането на ПГХ.

Мащабите на потенциалните газови залежи, (ПГХ), се определят от характеристиката на природните капани: геометрията на капана; възможното най-ниско ниво на водо-газовия контакт; метода за формиране на газовата акумулация; ефективния капацитивен потенциал на колекторното тяло; съотношението между активния и буферния газ и др. Те трябва да отговарят на потребностите на потребителите и да удовлетворяват определени технико-икономически изисквания.

От гледна точка на потенциалните капацитивни възможности (прогнозни обем на газа) природните капани са класифицирани по следната схема:

1. Перспективни: а) с високи капацитивни възможности: прогнозен обем над 2.10^9 m^3 ; б) с относително високи капацитивни възможности: прогнозен обем от 1.10^9 до 2.10^9 m^3 ; в) със средни капацитивни възможности: прогнозен обем от 500.10^6 до 1.10^9 m^3 ; г) с ниски капацитивни възможности: прогнозен обем от 100.10^6 до 500.10^6 m^3 .

2. Безперспективни: с много ниски капацитивни възможности (прогнозен обем под 100.10^6 m^3).

Предложената класификационна схема е валидна за условията на България и е съобразена със: специфичните геоложки особености на резервоарните системи и природните капани в палеогенския разрез от изучаваната територия; същността на метода за съхраняване на природен газ във водоносни пластове; състоянието на газовия пазар в България; потребностите на доставчиците на природен газ и др.

Географското положение на потенциалните ПГХ, спрямо газопреносната мрежа и центровете за потребление на природен газ, е важен критерий при избора на подходящи водоносни структури. Наред с други показатели, отдалечеността на ПГХ от тях влияе съществено върху технико-икономическите показатели. *Дълбочината* на потенциалните ПГХ също така влияе съществено върху технико-икономическите показатели. За оптимален се смята дълбочинен интервал 400-700 m, но в зависимост от конкретните условия той може да достигне 2000 m и повече.

Прогнозните оценки на *дебитите* и *производителността* на сондажите се извършват на базата на изследванията на сондажи, разкрили водоносните хоризонти.

Като се има предвид обаче времето на провеждане на сондажните работи може да се смята, че *наличният сондажен фонд* (в някои случаи крайно ограничен) е в недобро техническо състояние.

Прогнозни показатели

Основните прогнозни показатели, необходими при оценката на перспективните локални структури и природни капани и за целите на проектирането на опитно-промишленото нагнетяване, са свързани с:

1) характеристиката на структурата и капана: тип; местоположение и дълбочина; геометрия; възможна тектонска нарушеност.

2) геометрията на бъдещата газова акумулация: възможно най-ниското хипсометрично положение на ВГК; тип на залежа; височина на акумулацията; площ на залежа; средна дебелина на продуктивния хоризонт (обща и ефективна); обем на залежа (общ и ефективен); обем на празнините (общ и ефективен).

3) литолого-физичната характеристика на колекторното тяло (продуктивния хоризонт): строеж и литоложки особености; тип на колектора; физични показатели (порестост, проникваемост, остатъчна водонаситеност, обемна еластичност и др.).

4) изолиращата характеристика на покривката и подложката: строеж и литоложки особености; дебелина; възможна напуканост; физични показатели (структура на порните канали и порометрични показатели, дифузионна проникваемост, налягане на пробива).

5) хидрогеоложката характеристика на локалните структури и природните капани: статично ниво на водата в сондажите; начално хидростатично налягане на водоносните хоризонти; филтрационни показатели и продуктивна характеристика на водоносните пластове (хидропроводност, пиезопроводност, коефициент на продуктивност и др.); степен на изолираност (съобщаемост) на водоносните хоризонти и възможности за дрениране; йонно-солеви състав на водите; газонаситеност на подземните води и състав на разтворения газ; физични свойства на водата (плътност, вискозитет, обемна еластичност); термобарична характеристика (по водата).

6) устойчивостта на призабойната зона на сондажите (физико-механичните свойства на продуктивния хоризонт);

7) енергетична характеристика на потенциалната газова акумулация (начално пластово налягане, превишаващо налягане, режим);

8) мащабите на потенциалната газова акумулация (ПГХ) – обем на газа.

За изследваните локални структури и природни капани разгледаните качествени и количествени прогнозни показатели имат различна представителност, произтичаща от различните обеми на сондажната информация. За всеки перспективен природен капан тя е оценена от гледна точка на нейната достатъчност за целите на проектирането.

По степен на подготвеност за опитно-промишлено нагнетяване на природен газ и проектиране на ПГХ перспективните природни капани са класифицирани по следната схема:

1) с много висока степен на подготвеност: при наличие на достатъчен обем информация за проектиране;

2) с висока степен на подготвеност: при наличие на значителен обем информация. За проектиране е необходима уточняваща информация;

3) със средна степен на подготвеност: при наличие на недостатъчен обем информация. За проектиране е необходима допълнителна информация в значителен обем;

4) с ниска степен на подготвеност: при отсъствие на значителен обем информация. За проектиране е необходима нова информация от допълнителни геологопроучвателни дейности.

Заклучение

Предложените принципни постановки и методични подходи са приложени при изясняване на възможностите и перспективите за съхраняване на природен газ във водоносни пластове в терциерния разрез на Варненската моноклинала и Долнокамчийското понижение. От

изследваните 15 локални структури и 19 природни капани, като перспективни за изграждане на ПГХ са оценени 8 обекта. Те се характеризират с различна степен на перспективност, от гледна точка на техните капацитивни възможности, степента на изученост и подготвеността им за проектиране. За всеки от тях са направени препоръки за необходимия обем изследователски работи.

Литература

- Ермилов, О. М., В. В. Ремизов, А. И. Ширковский, Л. С. Чугунов. 1996. *Физика пласта, добыча и подземное хранение газа*. М., Наука, 539 с.
- Казарян, В. А. 2006. *Подземное хранение газов и жидкостей*. М., Ижевск, 426 с.
- Правила создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах*. 1986. М., 45 с.
- Ширковский, А. И., Г. И. Задора. 1974. *Добыча и подземное хранение газа*. 1974. М., Недра, 191 с.
- Study on Underground Gas Storage in Europe and Central Asia*. 1999. Union Nations, New York and Geneva.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

ХИАЛОКЛАСТИТИ ОТ ВИСКЯР ПЛАНИНА, ЗАПАДНО СРЕДНОГОРИЕ

Бануш Банушев¹, Страхил Банушев²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; banushev@mgu.bg

² ж. к. Младост 2, бл. 208, София 1799

РЕЗЮМЕ. Изследвани са минералният състав, строежа, химизма и промените на хиалокластити от Вискяр планина, Западно Средногорие. Хиалокластитите са под формата на отделни лещовидни тела и неиздържани маломощни потоци. Те са пространствено и генетично свързани латитови пилоу-лавови потоци и заемат техните челни, горни и долни части. Изградени са от тъмнокафяви до черни стъклени сфероиди и стъклени класти. Сфероидите са с витропорфирна структура, съставени от фенокристали на плагиоклази, авгит, рядко оливин и основна маса от вулканско стъкло. В периферните части на някои от тях е запазена кафява палагонитова обвивка. Запълващото вещество между сфероидите е от жълтокафяви и зеленокафяви стъклени класти с перлитна напуканост и фенокристали от плагиоклази и авгит. Промените на вулканското стъкло се свеждат до образуване на палагонит, монтморилонит, zeolites, хлорит-монтморилонит и хлорит. В химичен аспект измененията на стъклото са свързани с намаляване съдържанията на SiO_2 , Na_2O и K_2O и повишаване на H_2O . Хиалокластитите са образувани в субаквални условия, в резултат на глобулация, фрагментация, фонтаниране на топилката и при разрушаване на остъклените повърхностни части на пилоу-лавите.

HYALOCLASTITES FROM THE VISKIAR MOUNTAIN, WESTERN SREDNA GORA

Banush Banushev¹, Strahil Banushev²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; banushev@mgu.bg

² Mladost 2, bl. 208, Sofia 1799

ABSTRACT. The mineral composition, fabric, chemistry and the changes of hyaloclastites from Viskiar Mountain, Western Sredna Gora have been studied. The hyaloclastites are in the shape of separate lenticular bodies and unsteady low flows, spatially and genetically connected latite pillow lava flows and take up their front, upper and low parts. They are built of dark-brown to black glassy spheroids and glassy clasts. The spheroids are with vitroporphyratic texture, consisting of phenocrysts of plagioclases, augite, rarely olivine and groundmass of volcanic glass. A brown palagonite coating is retained in the peripheral parts of some of them. The filling substance among the spheroids is from yellow-brown and green-brown glassy clasts with perlitic cracking and phenocrysts from plagioclases and augite. The changes in the volcanic glass brought to formation of palagonite, montmorillonite, zeolites, chlorite-montmorillonite and chlorite. In chemical aspect, the changes in the glass brought to decrease in the contents of SiO_2 , Na_2O and K_2O and increase in H_2O . The hyaloclastites are formed in subaqueous conditions, as a result of globulation, fragmentation, fontation of the melt and at destruction of the pillow lava glassy surface parts.

Въведение

Хиалокластитите са лавокластични скали характерни за области със съвременен и древен вулканизъм. В България те имат широко разпространение в северните части на Източното Средногорие, а в Западното Средногорие са по-редки. Въпреки, че хиалокластитите представляват петроложки интерес във връзка с възможностите, които предоставят за петрогенетични интерпретации, в частност характера и типа на изригванията, вискозитетът и газонаситеността на магмата, те все още са недостатъчно изучени. В литературата са описвани като различни видове туфи със стъклени късове, обсидианови брекчи и др. В тази връзка отнасянето им към пирокластитите води до погрешни интерпретации на геоложката обстановка във вулканските райони. Кратки сведения за хиалокластитите в Източното Средногорие намираме в работите на Борисов (1965), Станишева и Василев (1966), Станишева (1989). Информацията за хиалокластитите от Западното Средногорие е още по-оскъдна. Белев (1960) съобщава за "кълбовидни чисто стъклени образувания" в трахиандезитите, а Загорчев и др. (1995) за

трахиандезитови лавови потоци "разделени от лещи от типични хиалокластити". Специализираните изследвания на тези характерни за вулканските райони скали от Източното и Западното Средногорие датират от края на XX век (Банушев, 1993, 1998, 1999, 2000; Banushev, 1999).

Обект на изследване са установените хиалокластити във Вискяр планина, района на с. Гоз, Брезнишко. Целта на настоящата работа е да представи първоначални сведения за веществения състав, строежа, химизма и промените на тези скали и да извърши сравнителна характеристика с хиалокластитите от други райони на Западното Средногорие.

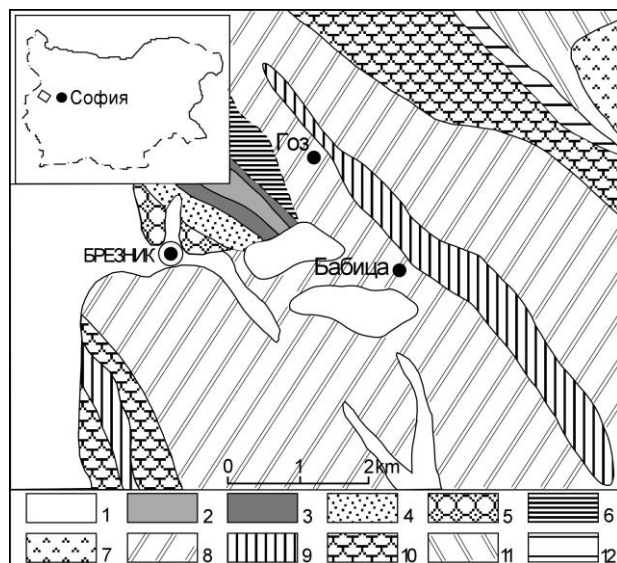
Материал и методи

Изследвани са 30 образеца от хиалокластити – сфероиди и стъклени класти. Изяснени са разпространението, текстурите и взаимоотношенията на хиалокластитите с околните вулканисти. Съставът, структурните и микротектурните особености на скалите са

определени с поляризационни микроскопи Amplival и Leitz Orthoplan-Pol. Рентгеноструктурните изследвания на вторичните променителни продукти са осъществени с дифрактометър ДРОН-1 (CuK α лъчение, Ni филтър, 35 kV, 24 mA) на фракции под 2 и 5 μ m върху неориентирани и ориентирани препарати, във въздушно сухо състояние, наситени с глицерин и нагreti до 550° C. Химичните анализи са извършени по метода оптико емисионна спектроскопия с източник на възбуждане индуктивно свързана плазма (OES-ICP), с апарат SPECTRO Analytical instruments (Germany).

Геоложка обстановка

Изследваният район се отнася към Западното Средногорие и е изграден от разнообразни вулкани, пирокластични и седиментни скали. Вулканите и пирокластитите участват в състава на горната вулканогенно-седиментна задруга (Загорчев и др., 1995), известна в литературата като втори хоризонт на мастрихта (Цанков и др., 1960), горен хоризонт (Белев, 1960), мастрихт трети хоризонт (Белев, 1967), горна част на туфо-тефроидно карбонатен геоконплекс (Начев и др., 1981), горна вулканогенна задруга (Велинов и др., 1983). С най-широко разпространение в областта са пирокластитите, представени от агломерати, лапилни и пепелни туфи с базалтов, андезитобазалтов, трахиандезитобазалтов и трахиандезитов състав.



Фиг. 1. Геоложка карта на част от Западното Средногорие (по Загорчев и др., 1991), с изменения: 1 – Кватернер; 2-3 – Палеоген, 2 – Пъстроцветна задруга, 3 – Конгломерато-пясъчникова задруга; 4-12 – Горна Креда, 4 – Пясъчниково-мергелна задруга, 5 – Пясъчниково-конгломератна задруга, 6 – Флишка задруга, 7 – Задруга на амфиболовите и биотит-амфиболовите андезити, 8 – Горна вулканогенно-седиментна задруга (агломерати, пепелни туфи и тефроидни скали), 9 – Трахиандезитови (латитови) и трахиандезитобазалтови лавови разливи и послойни тела, 10 – Задруга на тефроидни флиш 11 – Долна вулканогенно-седиментна задруга (агломерати, пепелни туфи и тефроидни скали), 12 – Базалтови, андезитобазалтови, трахибазалтови, трахиандезитобазалтови и трахиандезитови лавови разливи, послойни тела и агломерати

Агломератите са неяснослоести до масивни, разположени в близост до палеовулканските центрове, с отдалечаване от които се увеличава делът на пепелните туфи и на тефроидните скали. Вулканите са представени от трахиандезитови и трахиандезитобазалтови лавови разливи и удължени послойни тела с дължина до 8-10 km и ширина над 200 m със северозапад – югоизточна посока (Загорчев и др., 1995) (фиг. 1). В единични случаи се наблюдават андезитови лави. Седиментните скали са представени от тънкослойни многократно редуващи се пясъчници, мергели и глинести варовици, обособени в така нар. флишка задруга. В западните части на района се разкриват палеогенски седиментни скали, участващи в състава на конгломерато-пясъчниковата, битуминозната (нефтошистна) и пъстроцветна задруги. Североизточните части на района са изградени от вулканити (базалти, андезитобазалти, андезити, трахибазалти, трахиандезитобазалти и трахиандезити), пирокластични (туфи и ксенотуфи) и тефроидни скали отнесени към долната вулканогенно-седиментна задруга.

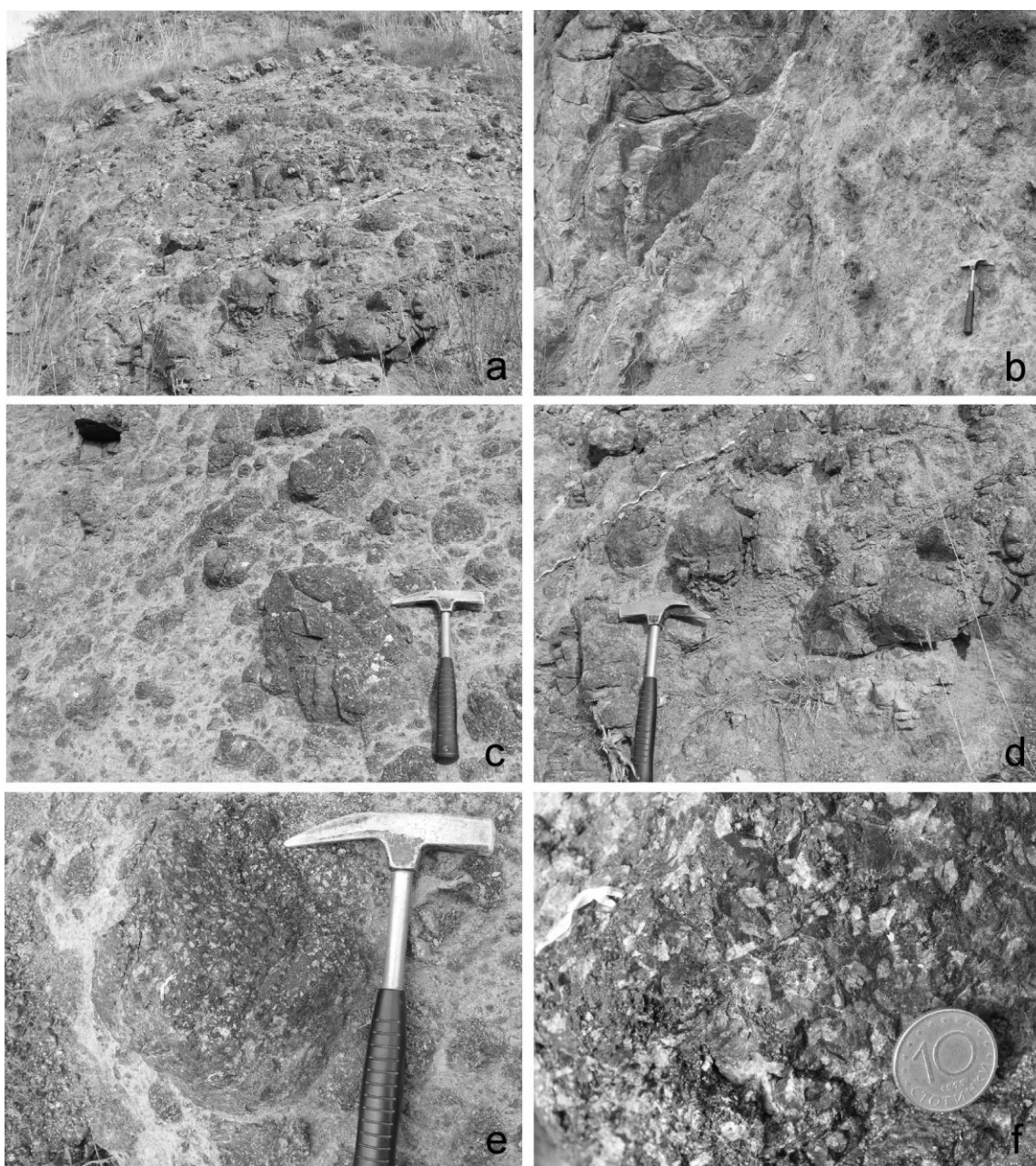
Петрографска характеристика

Изследваният район е изграден от пирокластични и вулканити – латитови пилоу-лавови потоци и хялокластични отнасящи се към горната вулканогенно-седиментна задруга. Пирокластитите са представени от незакономерно редуващи се агломерати, лапилни и пепелни туфи с дебелина на отделните пачки 5-10 m. Късовият състав в агломератите е от базалти, базалтови андезити, К-трахибазалти и андезити, а матриксът е от цялостно променени стъклени класти, сравнително свежи литокластични със същия състав и кристалокластични от плагиоклази и авгит. Базалтовите литокластични са тъмнозелени до черни, порфирни с масивна и миндална текстура. Фенокристалите (15-35%) са от плагиоклази, клинопироксени и оливин, често във вид на гломеропорфирни струпвания. Плагиоклазите (An₅₄₋₇₄) са, зонални, призматични и плочести, частично серицитизирани и карбонатизирани, по-рядко петнисто и неравномерно албитизирани. Клинопироксените са бледозелени, късопризматични, свежи, в някои случаи интензивно карбонатизирани. Оливинът (3-5%) е най-рядък, застъпен само в някои литокластични. Заместен е изцяло от карбонат и серпентин с отделени Fe хидроксида по цепителните повърхнини. Основната маса с интерсертална структура е съставена от микролити на плагиоклази и клинопироксени, магнетит, прашести рудни минерали и тъмносиво, частично девитрифицирано вулканско стъкло. Сред нея се наблюдават миндали запълнени със селадонит, хлорит, смектити, зоолити и калцит. Базалтовите андезити макроскопски са неотличими от базалтите. Изградени са от фенокристали (20-25%) на плагиоклази и клинопироксени. За разлика от базалтите в тях липсват оливинови фенокристали. Основната маса с гломеропорфирна и интерсертална структура е изградена от плагиоклазови и клинопироксенови микролити, магнетит и частично девитрифицирано вулканско стъкло. Миндалите са запълнени от периферните към централните части с хлорит, смектити и зоолити или със смектити, зоолити и калцит. Литокластичните от андезити (пироксенови и

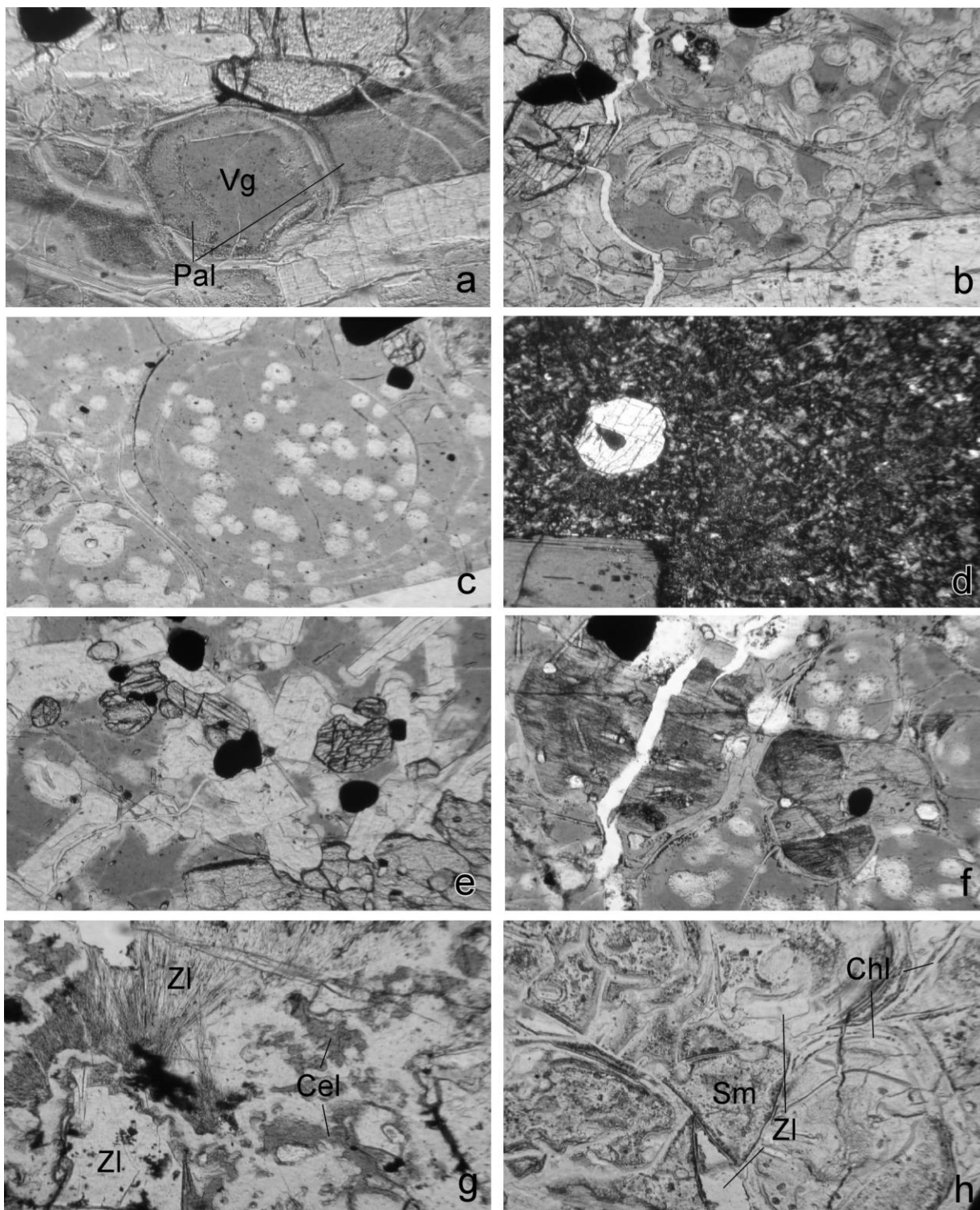
амфибол-пироксенови) са по-редки, застъпени предимно в по-високите нива на горната вулканогенно-седиментна задруга. Зелени до тъмносивозелени, дребнопорфирни, масивни. Изградени са от фенокристали на плагиоклази, амфиболи и авгит, и основна маса от безцветно до бледожълтеникаво вулканско стъкло, плагиоклазови микролити и рудни минерали. Наблюдават се и миндали запълнени с хлорит, смектити и зеолити. Късовете от К-трахибазалти са тъмнозелени до черни, порфирни с масивна и миндална текстура. Фенокристалите са от плагиоклази, клинопироксени, $\pm$ оливин и основна маса с интерсертална структура от вулканско стъкло, плагиоклазови и клинопироксенови микролити, рудни минерали и незначително количество ксеноморфен К-фелдшпат. Пепелните туфи са зелени, тъмнозелени, масивни или неяснослоести, кристаловитрокластични и кристаловитролитокластични. В състава им участват

стъклени класти с пореста и микрофлуидална текстура, променени в различна степен в хлорит, смектити и зеолити, литокласти от фенобазалти и феноандезити и кристалокласти от плагиоклази, клинопироксени и амфиболи.

Хиалокластитите обект на настоящото изследване са установени на около 0.5 km североизточно от с. Гоз, Брезнишко. Те са пространствено и генетично свързани с латитови лавови и пилоу-лавови потоци и заемат техните челни, горни и долни части. Най-често са под формата на отделни лещовидни тела с размери 5-15 m сред пилоу-лавите (фиг. 2a, b). В по-редки случаи са като неиздържани маломощни потоци с трудно определими размери поради закритост на терена. Изградени са от стъклени сфероиди и матрикс от стъклени класти (фиг. 2c, d).



Фиг. 2. Хиалокластити от района на Вискяр планина: а – хиалокластити и маломощен лавов поток; б – контакт между хиалокластити и пилоу-лавов поток; с-е – стъклени сфероиди и запълващо вещество от променени витрокласти; ф – сфероид с витропорфирна структура



Фиг. 3. Микрофотографии на хиалоклазити от района на Вискяр планина: а – вулканско стъкло (Vg) и палагонит (Pal) от периферните части на сфероиди; б – сферични и елипсоидни тела от променено в смектити (Sm) и хлорит (Chl) вулканско стъкло; в – вулканско стъкло с перлитно напукване; д – централни пълнокристалинни части на сфероиди; е – гломеропорфирна структура; ф – цялостно променен в боулингит оливин с включения от апатит; г, h – напълно променени в зърнести и влакнести зеоли (Zl), смектити и хлорит стъклени класти

Сфероидите са концентрично-зонални, с витропорфирна структура (фиг. 2f), тъмнокафяви до черни, с размери 5-8 cm, рядко до 40-50 cm с кристализирали централни части с вид на типична вулканска скала (фиг. 3d). По-дребните са изградени от свежо, изотропно или променено в различна степен анизотропно вулканско стъкло, неравномерно палагонитизирано, смектитизирано и зеолизитизирано (фиг. 3a). По-едрите (до 40-50 cm) сфероиди са с ясно изразен концентрично-зонален строеж. В периферните им части се

наблюдава неиздържана жълтокафява до кафява палагонитова обвивка с дебелина около 1 cm. Следва зона (2-4 cm) от вулканско стъкло с малки сферични или елипсоидни анизотропни тела с агрегатна поляризация и размери 0.02-0.08 mm, рядко до 0.3 mm. Те са единични или групирани по няколко, на места се сливат и обхващат по-големи зони (фиг. 3b). Резултат са на начална промяна на стъклото в смектити и хлорит. Преходът към вътрешните по-свежи части от светлокафяво изотропно

стъкло се бележи с намаляване на анизотропните тела и появата на кристали (фиг. 3с). Вътрешните части са пълнокристални, с микролитова структура (фиг. 3d). Изградени са от ксеноморфен К-фелдшпат, плагиоклазови микролити и кристали. На места се наблюдават смектитизирани участъци резултат на неравномерна промяна на вулканско стъкло. Фенокристалите (около 15%) в сфероидите са от плагиоклази, клинопироксени и оливин, на места в гломеропорфирни струпвания (фиг. 3е). Плагиоклазите (Al_{42-48}) са преобладаващи, но в някои случаи са приблизително равни на клинопироксените. Призматични (с размери до 2-3 X 1 mm), зонални, свежи или незначително серицитизирани и карбонатизирани. Съдържат включения от апатит, оливин, ксеноморфен клинопироксен, единични дребни биотитови люспи и кафеникаво вулканско стъкло, разположено зонално и маркиращо зони на растеж. Клинопироксените са късопризматични, бледозелени с включения от магнетит, вулканско стъкло, оливин и апатит. Оливинът е най-рядък, представен от заоблени субпорфири (около 0.6 mm) с включения от апатит. Цялостно променен в зелен, влакнест боулингит, по-рядко в оранжев иддингсит и карбонат. Запълващото вещество между сфероидите е от жълтокафяви (палагонитизирани и смектитизирани) и зеленокафяви (хлоритизирани) стъклени класти, с фенокристали от плагиоклази и авгит.

В хиалокластитите от района се установяват зелени, интензивно хидротермално променени сфероиди и стъклени класти с ясно изразено перлитно напукване и разнообразна форма – изометрична, удължена, неправилна, по-рядко сферична. Променени са изцяло, без реликти в дребнозърнест агрегат от анизотропни, зърнести и влакнести радиалнолъчести зоолити и такива с много ниски, тъмносиви интерференционни цветове, кафеникави смектити, а по пукнатините се наблюдават хлорит и селадонит (фиг. 3г, h). Данните от рентгеноструктурните анализи показват, че вторичната минерална асоциация е представена от зоолити (хейландит, морденит, аналцит), селадонит, хлорит, кварц и смектити (фиг. 4е). Стъклените класти съдържат фенокристали от плагиоклази (Al_{44-46}), авгит, акцесорен апатит и магнетит. Най-характерната особеност за фенокристалите е кластичния им характер – те са остроъгълни и значително натрошени.

Изменения на вулканското стъкло

Вулканското стъкло е преохладена силикатна топка с неподредена вътрешна структура, със слабо свързани SiO_2 тетраедри и значителни междумолекулярни пространства (Fisher, Schmincke, 1984). То е термодинамично неустойчиво и се променя значително по-бързо от включения в него фенокристали. Установено е, че характера и хода на измененията на базичното и средно по състав стъкло са сходни и се осъществяват по схемата: вулканско стъкло → палагонит → монтморилонит → хлорит-монтморилонит → хлорит (Банушев, 1998). Промените на стъклото от вулканитите от Вискяр планина са разнообразни и се свеждат до структурни преобразувания, формиране на нови минерални фази и изменение в химизма на скалите.

Структурни изменения

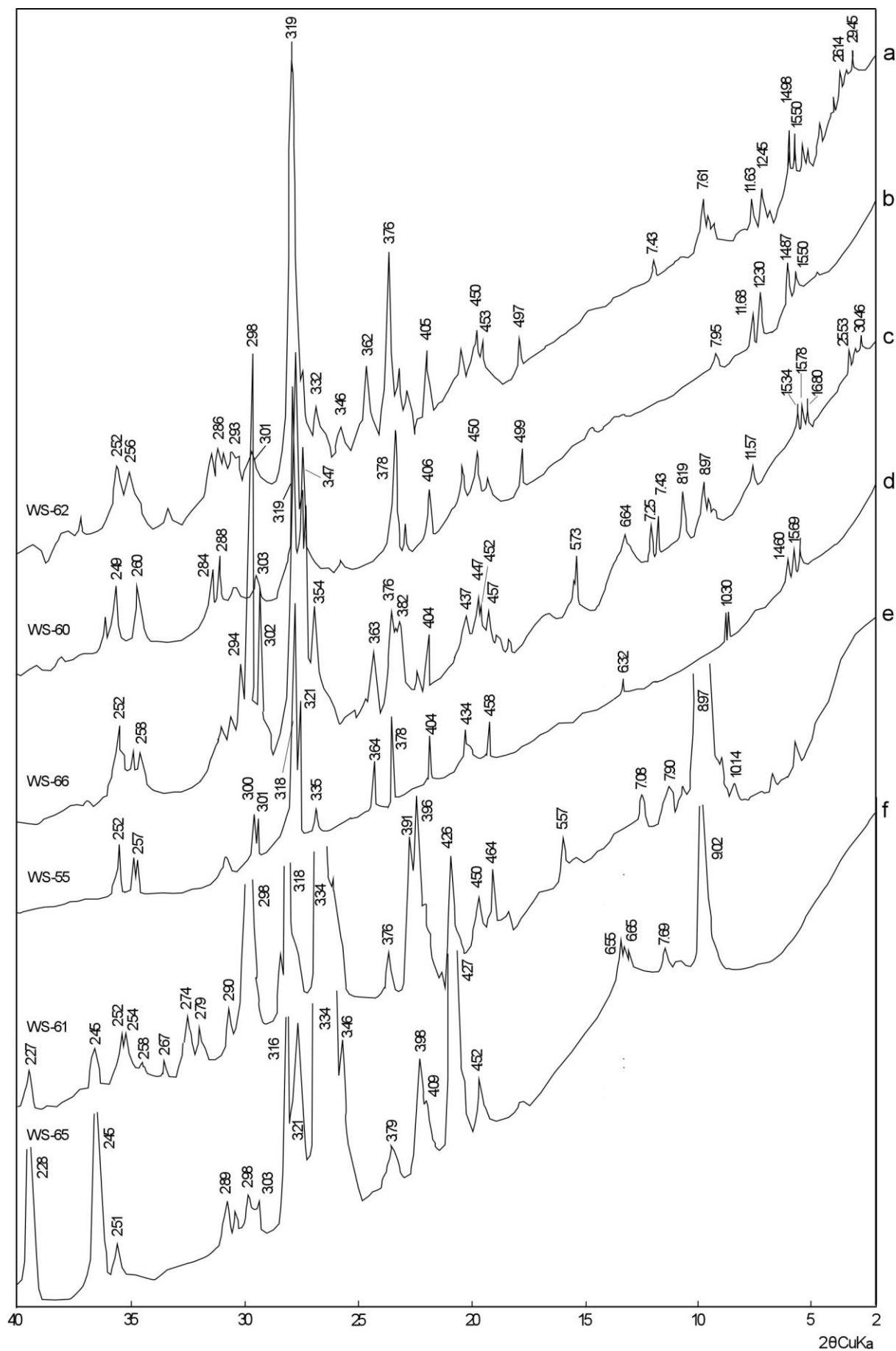
Промените на вулканското стъкло изграждащо сфероидите и стъклените класти наблюдавани микроскопски се свеждат до формиране на палагонит, който характеризира началния етап на промяна. Микроскопски се установява тънка палагонитова ивица, отделена с рязка граница от свежото стъкло. Последната се наблюдава в периферните части на стъклените класти, концентричните и радиални пукнатини, както и по стъклените стени на газовите мехурчета (порите) (фиг. 3а). С напредване степента на промяна палагонитът се превръща в анизотропен агрегат, резултат на формиране на нови минерални фази – смектити, смесенослоести образувания, зоолити и хлорит (фиг. 3b).

Минераложки изменения

Минераложките изменения на хиалокластитите разкриващи се около селата Мало Бучино и Бабица са твърде сходни с тези от района на с. Гоз, Брезнишко. Рентгеноструктурните данни показват, че новообразуваната минерална асоциация в палагонитизирани сфероиди е представена от монтморилонит, хлорит-монтморилонит и илит-монтморилонит. Част от рефлексите са на плагиоклази и авгит, присъстващи като фенокристали в стъклото. Преобладава монтморилонитът ($d[\text{\AA}] = 15.50; 4.50; 3.78-3.76; 3.32; 3.03-3.01; 2.56$), рефлексът (001), на който се увеличава до 17.67 $\text{\AA}$ при насищане с глицерин. Хлорит-монтморилонитът се регистрира от слабите рефлексии при $d[\text{\AA}] = 29.45; 14.98-14.87; 7.61; 4.99-4.97; 4.54-4.53$, базалният рефлекс, на който се увеличава до 32.24 $\text{\AA}$ при насищане с глицерин и намалява до 27.89 $\text{\AA}$ при нагряване (фиг. 4а, b).

Вторичната минерална асоциация, резултат на промяната на стъклените класти запълващи пространството между сфероидите е от хлорит-монтморилонит ($d[\text{\AA}] = 30.46; 15.34-14.60; 7.43; 4.57$), монтморилонит ($d[\text{\AA}] = 15.78-15.69; 4.47; 3.78-3.76; 3.02-3.00; 2.52$), селадонит ($d[\text{\AA}] = 10.30; 4.52; 4.37-4.34; 3.64-3.63; 3.35$ и $2.58-2.57$), хлорит ($d[\text{\AA}] = 7.25, 3.54$) и морденит (фиг. 4с, d). В стъклените класти се установяват и рефлексии на първични минерали – авгит. Сред хиалокластитите са установени неиздържани секущи жилки с дебелина 1-2 cm с хидротермална минерализация представена от зоолити (морденит, подчинено количество хейландит), калцит и кварц (фиг. 2 f).

Основният проблем при изследване промените на вулканското стъкло е разграничаване на няколко минерални фази (смектити, смесенослоест хлорит-монтморилонит, илит-монтморилонит, селадонит и хлорит) присъстващи в образците, с близки, в някои случаи припокриващи се рефлексии, които усложняват твърде много дифракционните картини. Така например конфигурацията на рефлексите при 14-16 $\text{\AA}$ (фиг. 4а, d) е указание за наличие както на монтморилонитова, така и на смесенослоеста фаза. От друга страна отраженията при 11-12 $\text{\AA}$ и слабите рефлексии при 25-26 $\text{\AA}$, както в палагонитизирани сфероиди, така и в стъклените класти най-вероятно са на илит-монтморилонит (фиг. 4а-с).



Фиг. 4. Дифрактограми на хялокластити от района на Вискяр планина: а-б – палагонитизирани сфероиди; с-д – стъклени класти; е – хидротермално променени сфероиди; ф – жилки с хидротермална минерализация в хялокластитите

Химични изменения

Превръщането на вулканското стъкло в палагонит е съпроводено с преразпределение на главните петрогенни оксиди – изнасяне на K_2O , Na_2O , CaO , MgO и SiO_2 (Hay, Iijima 1968; Гептнер, 1977; Гептнер и др., 1984). Някои автори отбелязват, че съдържанието на K_2O е променливо, което се дължи на палагонитизацията, осъществена в субаквална (увеличаване съдържанията на K_2O) или субаерална обстановка (намаляване на съдържанията) (Fisher, Schmincke, 1984).

Таблица 1

Химични анализи на вулканско стъкло и палагонит (тегл. %)

Вулканско стъкло				Палагонит		
Оксиди	WS-57	WS-56	WS-57/1	WS-62	WS-62/1	WS-60
SiO ₂	57.73	57.67	58.36	53.53	53.67	54.85
TiO ₂	0.61	0.58	0.73	0.64	0.69	0.61
Al ₂ O ₃	17.81	17.58	16.94	18.94	17.99	18.88
Fe ₂ O ₃	4.52	4.26	5.17	5.08	5.67	4.84
FeO	1.58	1.49	1.39	1.23	0.66	0.78
MnO	0.10	0.11	0.12	0.11	0.13	0.10
MgO	1.59	1.32	1.64	1.22	1.63	1.86
CaO	6.29	6.61	7.21	6.45	7.06	6.87
Na ₂ O	2.66	2.98	2.78	1.71	1.41	1.51
K ₂ O	4.16	3.93	3.15	2.93	1.85	2.30
P ₂ O ₅	0.24	0.23	0.26	0.23	0.25	0.24
3H	2.47	2.88	1.88	7.58	8.91	6.88
Сума	99.76	99.64	99.63	99.65	99.92	99.72

При настоящите изследвания е установено, че в процеса на палагонитизацията намаляват съдържанията на Na_2O (до 45%), K_2O (36%) и SiO_2 с около 6%. Al_2O_3 се увеличава с 6%, а водата нараства драстично – над 200% (табл. 1). Редът на подвижност на компонентите е $Na > K > Si$. Съдържанията на TiO_2 , MnO , MgO и P_2O_5 са относително постоянни, без значителни отклонения в съставите на стъклото и палагонита. В повечето случаи CaO също намалява, но обикновено той се отлага като по-късни карбонати, което е причина за сравнително постоянния му състав. Съдържанията на желязо се запазват, с тази особеност, че се наблюдава тенденция за увеличаване на тривалентната форма за сметка на двувалентната.

Заклучение

Хиалокластитите от Вискяр планина, около с. Гоз, Брезнишко са изградени от стъклени сфероиди и запълващо вещество от променени витрокласти. Те са пространствено и генетично свързани с латитови пилоулавови потоци и заемат техните челни, горни и долни части. Изследваните хиалокластични показват близко сходство по отношение на състав, структурно-текстурни особености, химизъм и промени с тези от района на селата Мало Бучино и Бабица. Установените и в други райони на Западното Средногорие хиалокластични (Банушев, 2000), дават основание да се предположи, че тези скали са по-широко разпространени, но поради закритост на терена са с по-ограничени прояви на повърхността.

Хиалокластитите са образувани в субаквални условия в резултат на фрагментация, глобулация на топилката и

разрушаването на остъклените периферни части на пилоулавите. От съществено значение за формирането на хиалокластични и пилоу-лави е вискозитетът на топилката в момента на попадането ѝ във водата (Bonatti, 1965), скоростта на движение на лавата, съотношението на вътрешното и външното налягане. С не по-малко значение са и факторите, от които зависи вискозитетът – температура, налягане, наличие на летливи вещества. Попадайки в субаквална среда, в условия на бързо повишаване на вискозитетът, в челните, горни и долни части на потока се образуват глобули (сфероиди), които по същество представляват “лавови капки”. В резултат на бързото преохлаждане по-малките от тях се остъкляват изцяло. Вътрешните части на по-едри сфероиди кристализират, благодарение на изолиращата роля на периферната стъклена зона. Витрокластите се формират при разрушаване и десквамация на стъклените периферни части на пилоу-лавите и сфероидите при движението на потока.

Физикохимичните условия на палагонитизацията са все още дискуссионни. Въпреки различните становища по въпроса, може да се приеме, че палагонитът се формира по време или малко след изливане на лавата във водата. По-късните промени на вулканското стъкло в хиалокластитите от Западното Средногорие са резултат на нискотемпературните преобразувания на стъклото и наложената хидротермална дейност. Ролята на повишените температури и въздействието на хидротермални разтвори се потвърждава и от наличието на интензивно хидротермално променени сфероиди и стъклени класти, разположени около по-високо проницаеми зони. В тези участъци стъклото е цялостно променено, с разнообразна хидротермална минерална асоциация от хейландит, морденит, кварц, селадонит и хлорит. Измененията са осъществени по схемата: вулканско стъкло → палагонит → монтморилонит → хлорит-монтморилонит → хлорит и са сходни с промените на стъклото от вулканитите от Източното Средногорие. Потвърждава се становището изказано от Jonson (1961), че палагонитизацията протича в различни геоложки обстановки, навсякъде където се осъществява съприкосновение на стъклото с водата, както и твърдението, че палагонитът се образува не само по базичното, но и по средното по състав вулканско стъкло (Банушев, 1998).

Литература

- Банушев, Б. 1993. Веществен състав и промени на хиалокластитите от алкалната серия в Източното Средногорие. – *Год. МГУ*, 39, св. I - геол., 49-55.
- Банушев, Б. 1998. Върху палагонитизацията на средните по състав вулканити от Източното Средногорие. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 59, 3, 143-150.
- Банушев, Б. 1999. Петроложка характеристика на хиалокластитите от Източното Средногорие. – *Геохим., минерал. и петрол.*, 36, 67-76.
- Банушев, Б. 2000. Състав и промени на хиалокластитите от Западното Средногорие – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 61, 1-3, 133-141.

- Белев, С. 1960. Петрографски и геоложки изследвания върху скалите от еруптивната зона на Вискяр планина и височините североизточно от нея. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 21, 2, 33-60.
- Белев, С. 1967. Изследвания върху петрографията и тектониката на Брезнишката котловина. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 28, 2, 139-152.
- Борисов, И. 1965. Петрографски изучавания на магматитите северно от гр. Бургас и сравнителна петрохимична характеристика на горнокредните вулкани в България. – *Год. СУ, Геол. - геогр. фак.*, 58, кн. 1, геол., 197-233.
- Велинов, И. 1967. Пропилити и алунитови кварцити в района на гр. Брезник. – *Изв. Геол. инст.*, кн. 16, 205-220.
- Велинов, И., Н. Черноколев. 1966. Околорудни изменения и първична самородна мед от Люлин планина. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 27, 2, 197-202.
- Велинов, И. Т. Маринов, Н. Стефанов, Д. Бахнева, А. Султанов, В. Атанасов. 1983. Относно металогенната перспективност на Западното Средногорие. – *Сб. Докл. 30 год. ВМГИ*, С. 33-43.
- Гептнер, А. Р. 1977. Палагонит и процес палагонитизации. – *Литол. и полезн. ископ.*, 5, 113-139.
- Гептнер, А. Р., М. А. Селезнева, С. Б. Смелов, И. Г. Лискун. 1984. Условия образования и начальные стадии изменения базальтового стекла. – *Литол. и полезн. ископ.*, 4, 44-62.
- Димитров, Р., С. Белев. 1970. Развитие на вулканизма в еруптивната зона на Люлин - Завалска планина. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 31, 3, 315-322.
- Загорчев, И., В. Костадинов, Д. Чунев, Р. Димитрова, И. Сапунов, П. Чумаченко, С. Янев. 1991. *Геоложка карта на България в М 1:100000, к. л. Власотинце и Брезник*.
- Загорчев, И., В. Костадинов, Д. Чунев, Р. Димитрова, И. Сапунов, П. Чумаченко, С. Янев. 1995. *Обяснителна записка към геоложка карта на България, М 1:100000. Картни листове Власотинце и Брезник*, С., КГМР, "Геология и геофизика" АД, 107 с.
- Костов, И., Б. Маврудчиев, А. Кунов. 1967. Разпределение на зеолитовите минерали в Западното Средногорие. – *Изв. Геол. инст.*, 16, 61-94.
- Начев, И., Н. Ганева, Я. Миланова. 1981. Седиментология на горната креда в Западното Средногорие. – *Палеонт., стратигр. и литол.*, 14, 29-64.
- Станишева, Г., Л. Василев. 1966. Сенонските трахиандезити около гр. Ахтопол и тяхната алкална автометасоматоза. – *Изв. НИГИ*, 3, 283-300.
- Станишева, Г. 1989. Альпийский магматизм Средногогория и Восточных Родоп и связанная с ним металлогения. – КБГА, 14 конгресс, София. *Путеводитель экскурсии* 2, 27-38.
- Banushev, B. 1999. Palagonitization of intermediate volcanites from the Eastern Srednogorie (Bulgaria). – *Comp. rend. Acad. Bulg. Sci.*, 52, 3-4, 65-68.
- Bonatti, E. 1965. Palagonite, hyaloclastites and alteration of volcanic glass in the ocean. – *Bull. Volcanol.*, 28, 257-270.
- Fisher, R. V., H. U. Schmincke. 1984. *Pyroclastic Rocks*. Heidelberg, Springer, Verlag, 318 pp.
- Hay, R. L., A. Iijima. 1968. Petrology of palagonite tufts of Koko cratera, Oahu. – *Contribs Mineral. and Petrol.*, 17, 2, 141-154.
- Jonson, J. 1961. Some observations on the occurrence of sideromelan and palagonite. – *Bull. Geol. Inst. and Univers. Upsala*, XL, 81-86.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ

АХАТОВИ ГЕОДИ ОТ РАЙОНА НА С. ТАТАРЕВО, ИЗТОЧНИ РОДОПИ

Бануш Банушев¹, Здравко Цинцов²

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; banushev@mgu.bg

² Централна лаборатория по минералогия и кристалография "Акад. Иван Костов", БАН, София 1113; ztsintsov@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Изследвани са минералният състав и текстурните особености на геодов тип ахати от района на с. Татарево, Източни Родопи, локализиращи в палеогенски кисели вулкани (висококалиеви риолити) на задругата на втори кисел вулканизъм. Геодите са предимно плътни с атрактивни декоративни качества, дължащи се на концентрично-ивичестите и паралелни слоеве, изградени от различни фази на SiO₂, контрастно изпъкнали на фона на тъмните (тъмносиви до черни) цветове на халцедоновата матрица. Микроскопските изследвания показват, че минералния състав на ахатите включва основно фази на SiO₂, сред които преобладава халцедон от различни микроструктурни типове. Въз основа на получените данни е изказана хипотеза, че изследваните ахати са образувани от нискотемпературни разтвори резултат на постмагматичната хидротермална дейност в района. Специфичните особености в оцветяването им се дължат на цикличното обогатяване на тези разтвори с Fe и Mn.

AGATE GEODES FROM THE TATAREVO VILLAGE REGION, EASTERN RHODOPES

Banush Banushev¹, Zdravko Tsintsov²

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; banushev@mgu.bg

² Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography "Acad. Ivan Kostov", BAS, Sofia 1113; ztsintsov@mail.bg

ABSTRACT. The mineralogical features and structural characteristics of geode type agates from theTatареvo village region, localized in Paleogene acid volcanics (high-K rhyolite) from the formation of the II acid volcanism are studied. The geodes are predominantly dense and of attractive decoration qualities due to the concentric-stripe and parallel layers of different phases of SiO₂, which protrude in respect to the dark colors (dark gray up to black) of the chalcedony matrix. The macroscopic studies show that the mineral composition of the agates includes mainly phases of SiO₂, among which different microstructural types of chalcedony are prevailing. On the basis of the obtained data is suggested a hypothesis, that the studied agates have been formed from low temperature solutions as a result of the postmagmatic hydrothermal activity in the region. The specific characteristics in its colouration is result of the cyclic dressing of these solutions with Fe and Mn.

Въведение

Ахатите с тяхното текстурно многообразие привличат вниманието на хората от най-дълбока древност, а химическите и физикомеханичните им характеристики направиха успешно тяхното приложение в редица промишлени направления. Независимо от повишения интерес към тези природни образувания, генезиса и геологията на техните находища все още са недобре изучени. Относно генезиса на ахатите са изказани множество хипотези, но до момента нито една от тях не обяснява задоволително всички аспекти на проблема (Мохоп, 1996). Вероятно това оказва неблагоприятно влияние при разработването на стройна система от критерии за оценка и прогноза за търсене на техните находища. В същото време промишлените находища на ахати се свързват основно с вулкани (главно базалти, по-рядко андезити и най-рядко риолити), като останалите генетични типове находища са силно подценени и изследванията в тях са крайно ограничени (Годовиков и др., 1987). Ахати с промишлени концентрации в кисели вулкански скали се срещат сравнително рядко, като в същото време те съществено се отличават по форма, размери и текстурни особености от ахатите в базалти или андезити (Киевленко, Сенкевич, 1976). Нещо повече,

при описанието на халцедоновы образувания (ахати) от такива скали с характерни особености във формата и повърхността, в САЩ за пръв път използват наименованието "thunder eggs" ("гръмови яйца"). Според Киевленко и Сенкевич (1976) тези ахати се отличават с контрастни цветни слоеве и притежават висока ювелирна и колекционна стойност. С аналогични качества се характеризират ахатите от киселите вулкани от един сравнително слабо известен все още район у нас, разположен в землището на с. Татарево, Хасковско.

Сравнително слабата популярност на ахатите от района на с. Татарево вероятно се дължи както на отдалечеността му от основните проявления в Източните Родопи така и на сравнително ограничената му площ и редките находки, които се намират в границите на проявлението. Независимо от това обаче, поради изключително атрактивните и високи декоративни качества на тези ахати, тяхното търсене, особено от страна на колекционерите на минерални образци в България непрекъснато нараства. Най-вероятно това се дължи на обстоятелството, че до момента проявление "Татарево" е единственото компактно ахатопроявление у нас, в което част от образците носят белезите на типични ониксови ахати и твърде е възможно при задълбоченото му изследване да се установи, че страната ни разполага с такъв тип ахати.

Целта на предлаганата работа е да представи първоначални данни относно минераложките и текстурни особености на ахатовите геоди от киселите вулканисти от района на с. Татарево, Хасковско. Геодите обект на настоящото изследване са изградени основно от различни разновидности на SiO_2 , при описанието на които е възприета номенклатурата и съкратените означения предложени от Flörke et al. (1991). В България тази номенклатура е въведена от Tsintsov et al. (2001) и се използва при специализираните изследвания на ахатите у нас (Цинцов и др., 2006; Tsintsov et al., 2002).

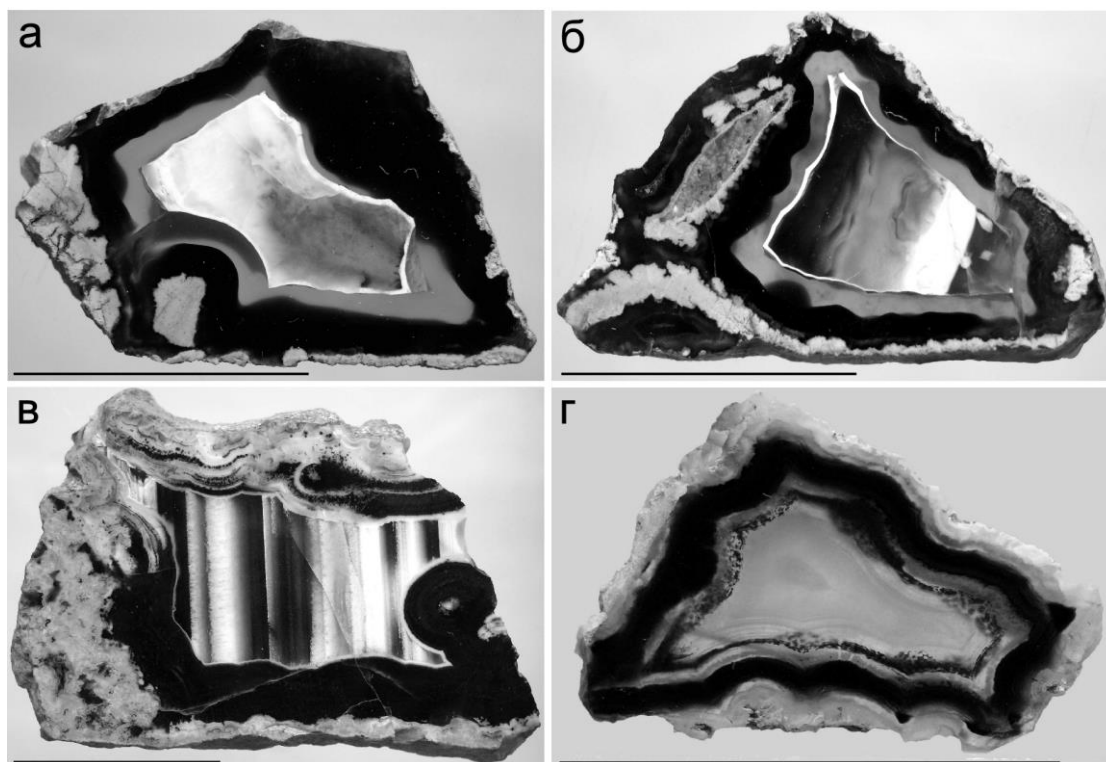
Геоложка обстановка

В структурно отношение изследваният район се отнася към североизточната периферна част на Боровишката калдера в Източнородопското палеогенско понижение. Магматизмът, петроложките и петрогенетични аспекти, както строежът и морфологията на вулканските тела са добре изучени (Иванов, 1963; Янев и др., 1983; Боянов и др., 1990, 1995; Пантева, 1996; Харковска и др., 1997; Янев, 1998). Районът около с. Татарево е изграден от кисели вулканисти (задруга на втори кисел вулканизъм), участващи в състава на Татаревската вулcano-тектонска структура. Описани са амфиболови риолити (Иванов, 1963), трахириодацитови и риолитови “куполи на изстискване” с перлити в периферните им части (Янев и др., 1983), трахириодацити, риодацити и перлити (Боянов и др., 1990; 1995). В областта западно и северно от с. Татарево се разкриват вулканисти (латити), пирокластити и вулканогенно-седиментни скали участващи в състава

на задругата на втори среднокисел вулканизъм, а в южните части и разнообразни седиментни скали.

Морфоложки и текстурни особености

Ахатите от проявление “Татарево” се намират най-често в елувия, по-рядко в делувия и алувия на слабо развитата речна мрежа в района и много рядко в коренните вулканисти. Представени са от геоди с овална, изометрична или слабо удължена форма с размер по най-дългата ос до 8 см. Голяма част от геодите са напукани и тази особеност е право пропорционална на техните размери. Повърхността им е неравна и груба, а на отделни образци покрита с дребни каверни. Последните са с неправилна, ъгловата форма и размер до 6 mm и са разпространени във вътрешните части на геодите като стените им са “облицовани” с плътен кварц или кристали от същия минерал. В отделни каверни се наблюдават неправилни халцедонови образувания със скелетен строеж. В периферните части на по-голяма част от геодите се наблюдават реликти от вместващите ги кисели вулканисти, които на отделни места са с брекчевиден характер, обусловен от “импрегнацията” им с халцедон. Атрактивните качества на ахатите се изразяват много добре в полирани срезове и се дължат на контрастните концентрични или паралелни (ониксов тип) слоеве от снежнобял до бежов опал, които много ясно контрастират на фона на черната халцедонова матрица (фиг. 1). Ониксовата текстура при част от образците се обуславя от наличието на алтерниращи черно-бели слоеве с дебелина предимно от 1 до 4 mm. В много редки случаи се наблюдават неравномерно разпределени в халцедона участъци или дори цели слоеве с карнеолово (червенокафяво) оцветяване.



Фиг. 1. Текстурни особености на ахатови геоди от района на с. Татарево. Маркер: а-г – 2 см

Петрографска характеристика

Ахатовото проявление от района на с. Татарево е локализирано в кисели вулкани (риолити) отнасящи се към задругата на втори кисел вулканизъм. Риолитите са розови до светлокафяви, порфирни с масивна текстура. Изградени са от фенокристали (15-30%) на плагиоклази, санидин, кварц, биотит, амфибол и девитрифицирано вулканско стъкло. Плагиоклазите (Ap_{24-36} – олигоклаз-андезин) са около 40-50% от фенокристалите. Свежи, зонални, призматични и плочести, представени от порфири с размери до 5 X 0.8 mm и субпорфири (0.35 X 0.15 mm). Някои съдържат многочислени включения от девитрифицирано вулканско стъкло и биотит. Санидинът (2 X 2.5 mm) е бистър с правоъгълна и квадратна форма, с включения от субпорфирни плагиоклази. Кварцът е представен от единични заоблени кристали с равномерно потъмнение и размери до 1.3 mm. Мафичните минерали (10-15%) са от биотит и амфибол, като първият преобладава. Биотитът е свеж, силно удължен до иглест, с включения от апатит. На места е протокластично огънат. Притежава силен плеохроизъм от светложълтокафяв по X, до тъмнокафяв, почти черен по $Z \cong Y$. Схемата на абсорбция е $Z \cong Y > X$. Амфиболите са зелени, в някои случаи зеленокафяви, тънкопризматични, удължени до 2 mm. Характерна особеност са натрошените фенокристали от кварц, плагиоклази и амфиболи, както и такива със следи от магматична корозия. Акцесорните минерали са от призматичен апатит, циркон, титанит и магнетит.

Таблица 1

Химични анализи на кисели вулкани от района на с. Татарево (тегл. %)

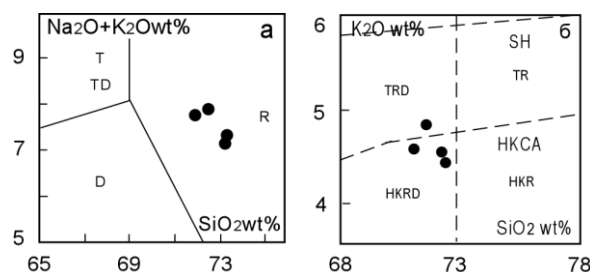
Оксиди	ER-79	ER-80	ER-81	ER-81/1
SiO ₂	71.23	71.73	72.35	72.51
TiO ₂	0.32	0.29	0.28	0.30
Al ₂ O ₃	14.19	13.95	13.51	13.64
Fe ₂ O ₃	2.34	2.22	2.30	1.98
FeO	0.41	0.38	0.40	0.52
MnO	0.07	0.04	0.03	0.05
MgO	0.76	0.57	0.54	0.66
CaO	1.79	1.91	1.78	1.91
Na ₂ O	2.96	2.97	2.69	2.75
K ₂ O	4.68	4.86	4.58	4.43
P ₂ O ₅	0.20	0.17	0.42	0.36
3H	0.77	0.74	0.91	0.79
Сума	99.72	99.83	99.79	99.90
K/Na	1.58	1.64	1.70	1.61
P.I.	0.70	0.73	0.69	0.68
Нормативен състав по CIPW				
Q	31.99	31.64	36.03	35.72
Or	27.98	29.01	27.40	26.44
Ab	25.28	25.33	22.99	23.45
An	7.79	8.56	6.44	7.43
C	1.43	0.68	1.80	1.62
Hu	1.92	1.44	1.37	1.66
Mt	0.63	0.52	0.58	0.98
Hm	1.93	1.88	1.93	1.32
Il	0.61	0.56	0.54	0.58
Ap	0.44	0.37	0.93	0.79

K/Na = K₂O/Na₂O; P.I. = Na₂O + K₂O/Al₂O₃ (mol)

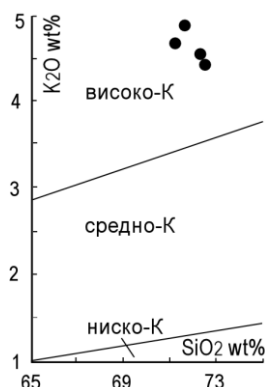
Основната маса с микрофелзитова, фелзитова и сферолитова структура е от светложълтокафяво до светлокафяво вулканско стъкло, неравномерно девитрифицирано в микрозърнест кварц – К-фелдшпатов агрегат. Наблюдават се и сферолити с влакнест, радиалнолъчест строеж, пространството между които е запълнено с дребнозърнест агрегат от К-фелдшпат и кварц с фелзитова структура.

В приразломните по-високо проницаеми за хидротермалните разтвори зони, риолитите са процепени от множество кварцови и халцедонови жилки, с дебелина до 2 cm и дължина до 80 cm, които на места прехождат в неправилни по форма лещовидни тела. Наблюдават се и неравномерно разпределени ръждивокафяви пигментации от Fe хидроксиди. Скалообразуващите минерали във вулканитите от тези зони са значително променени. Плагиоклазите са заместени по пукнатини от кварц и халцедон, а мафичните минерали са цялостно променени – биотитът е обезцветен и превърнат в изотропна безструктурна маса, а амфиболите са заместени от кварц и халцедон. В основната микрофелзитова маса присъстват множество безцветни, изометрични и удължени тела изградени от изотропни SiO₂ фази, вероятно опал. В тези хидротермално променени участъци се наблюдават миндали запълнени със SiO₂ фази – предимно халцедон, в по-малка степен кварцин, опал и микрокварц, които по същество представляват своеобразни микроахати. Редуването на различните микроструктурни типове халцедон и SiO₂ фази от периферните към централните части на микроахатите е от типа: CH_{LF} → CH_{LS} → MQ и CH_{LF} → CH_{LF} → CH_{LS} → ±MQ. В други случаи сред масивен халцедон се наблюдава влакнест и сферично-влакнест халцедон с микроритмичност, както и изометрични и неправилни тела с размери 0.01-0.2 mm от оптически изотропен опал.

На класификационната TAS диаграма (Le Bas et al., 1986) изследваните вулкани попадат в полето на риолитите (фиг. 2а), а според диаграмата на Ресерилло & Тейлор (1976), допълнена от Dabovski et al. (1991) те са висококалиеви риодацити и трахириодацити (фиг. 2б). Вулканитите са висококалиеви (фиг. 3), преситени с нормативен кварц и висококалиево калциево-алкална и шошонитова сериалност. Съотношението K₂O/Na₂O е между 1.58 и 1.70, а пералкалният индекс е от 0.68 до 0.73 (табл. 1).



Фиг. 2. а – Алкално-силициева класификационна диаграма (по Le Bas et al., 1986) с разположение на фигуративните точки на вулканитите от района на с. Татарево: D – дацит; R – риолит; T – трахит; TD – трахидацит; б – Диаграма на Ресерилло & Тейлор (1976), допълнена от Dabovski et al. (1991): HKRD – висококалиев риодацит; HKR – висококалиев риолит; TRD – трахириодацит; TR – трахириолит; Сери: HKCA – висококалиево калциево-алкална; SH – шошонитова



Фиг. 3. Диаграма на Le Maitre et al. (1989) за разделяне на риолитите на нискокалийни, среднокалийни и висококалийни

Изследваните ахати от района на с. Татарево са изградени от многократно и ритмично редуващи се SiO_2 фази – предимно халцедон, в по-малка степен микроварц и опал. Халцедонът е предимно черен, по-рядко червенокафяв и безцветен. Черните ивици изграждат по-голяма част от ахатите и обикновено заемат периферните им части. Под микроскоп се установяват редуващи се ивици с дебелина от порядъка на 0.02-0.5 mm от различни микроструктурни типове халцедон – CH-W_{LF} , CH-H_{LF} , CH_{LF} и CH_{M} . Червенокафявите са от CH-H_{LF} (сферично-влакнест и хоризонтални слоеве) и CH_{LF} , а безцветните от CH-W_{LF} (фиг. 4а-б). Различните микроструктурни типове халцедон се редуват в различен порядък. Периферните части са изградени от многократно редуващи се ивици от влакнест и параболично-влакнест халцедон с дебелина 0.3-0.5 mm, а вътрешните части – от микроварц ($\text{CH}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-W}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-H}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-W}_{\text{LF}} \rightarrow \text{MQ}$). В други случаи в черните халцедонови ивици се наблюдава оптически слабо анизотропен опал, сред които локално и неравномерно са диспергирани кафяви и ръждивокафяви Fe хидроксиди асоцииращи с глинести минерали (фиг. 4в). Структурните данни (XRD изследвания и Раманова спектроскопия) показват, че анизотропията на опала се дължи на наличието в него на структурни домени от преобладаващо кристобалитов, тридимитов или смесен (кристобалит-тридимитов) компонент. Халцедоновите ивици около опала са изградени от редуващ се влакнест халцедон с ясно изразена микроритмичност, параболично-влакнест и масивен халцедон (фиг. 4в). Вътрешните части на тези ахати са от масивен халцедон и микроварц, с вариращо количество халцедонови сферолити сред тях. Редуването на различните микроструктурни типове халцедон и SiO_2 фази е: $\text{O} \rightarrow \text{CH}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH-W}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH}_{\text{M}} \rightarrow \text{CH}_{\text{LF}} \rightarrow \text{CH}_{\text{M}}$ и $\text{MQ} \pm \text{CH-H}_{\text{LF}}$. В някои концентрично-зонални ахати освен описаните многократно редуващи се микроструктурни типове халцедон се наблюдават халцедонови сферолити, пространството между които е запълнено с CH_{M} . Ядрото им е от Fe хидроксиди, микроварц и опал, а периферните части са от CH-H_{LF} и CH-W_{LF} (фиг. 4г).

Оцветяването на ахатите се дължи на различната концентрация и разпределение на Fe сулфида, Fe и Mn оксиди и хидроксиди в халцедона (фиг. 4д). Те са представени основно от пирит, пиротин, Fe оксиди и хидроксиди и единични находки от Mn оксиди или

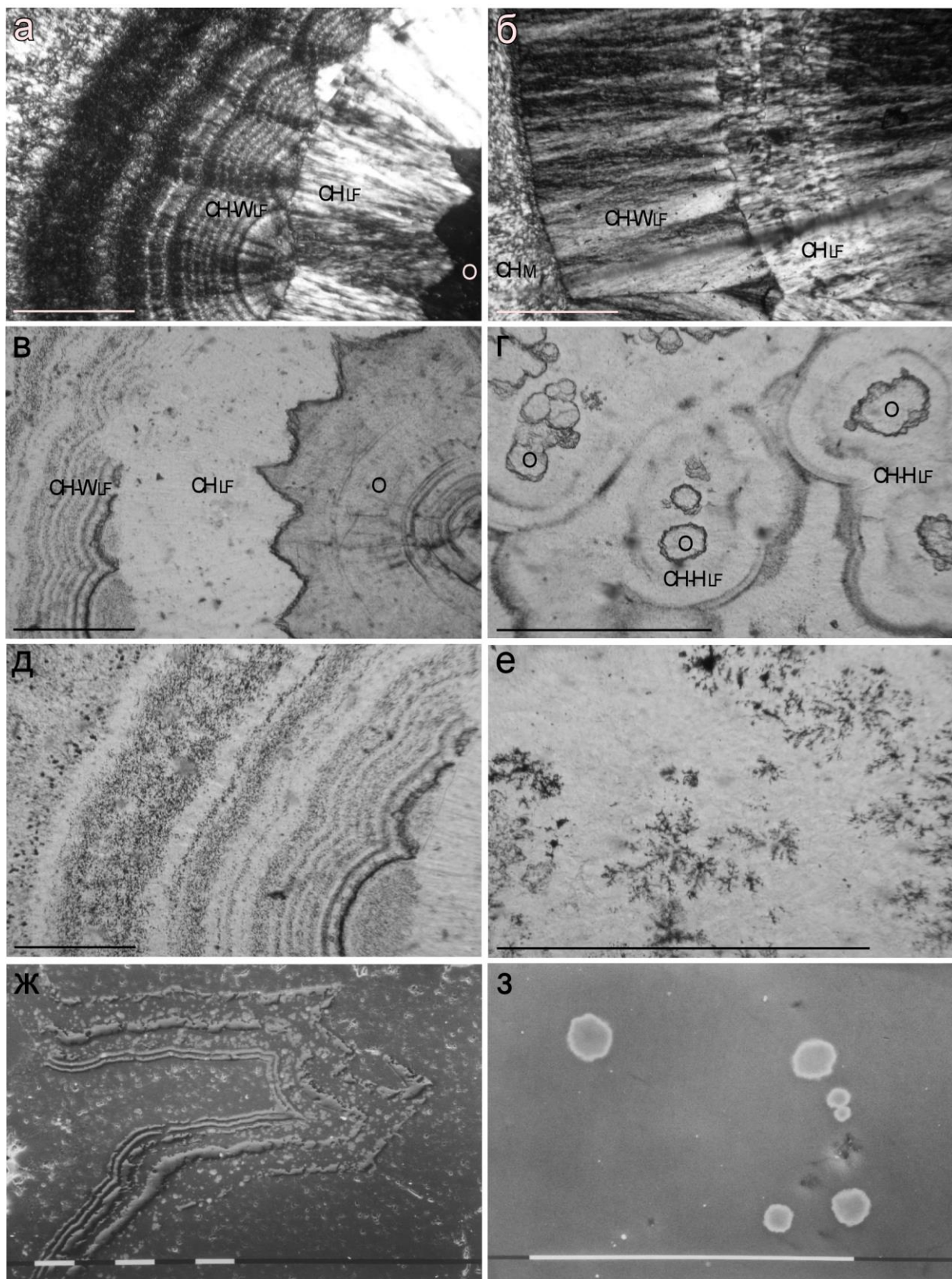
хидроксиди. Имат неправилна, изометрична или ъгловата форма и размери предимно под 2 μm , много рядко до 8 μm по най-дългата ос. Често черните ивици са оформени и оцветени от закономерно разположени в ешалонна подредба фрамбоиди на Fe сулфида с размери под 1 μm , много рядко достигащи до 5 μm . Имат почти идеална сферична форма и много рядко показват недобре развити кристални стени. Червенокафявите ивици са пигментирани от Fe оксиди и хидроксиди, представени от тела със същата морфология и размери, но с ръждивокафяво оцветяване (фиг. 4д). В някои случаи сред CH_{M} се установяват неравномерно разпределени ръждивокафяви, дендритовидни Fe оксиди и хидроксиди (фиг. 4е), а в други – ивици от плътно подредени фрамбоиди на Fe сулфида или оксиди и хидроксиди с различни размери и морфология (фиг. 4ж), които разделят различните микроструктурни типове халцедон. В определени участъци фрамбоидите имат неравномерна концентрация и разпределение в черния халцедон (фиг. 4з). Вероятно в определени случаи черното оцветяване на халцедона се дължи на фино диспергирани сред него Mn оксиди или хидроксиди. Характерна особеност е локализацията на пигментацията компонент в определен микроструктурен тип халцедон, в границите на който концентрацията и разпределението му е сравнително постоянно. В тази връзка редуването на ивици с по-висока концентрация на Fe сулфида, Fe и Mn оксиди и/или хидроксиди и такива с по-ниска наситеност, както и наличието на опал обуславят контрастното оцветяване на ахатите.

Генетични особености

Генезисът на ахатите от района на с. Татарево следва да се обвърже с постмагматичната хидротермална активност в Източните Родопи. Хидротермалната дейност е неравномерно проявена, по-интензивно около приразломните по-високо проницаеми зони, като и в катаклазирани и тектонизирани участъци. В тези зони обогатените на SiO_2 нискотемпературни разтвори са запълнили пукнатини, каверни и различни по големина и морфология газови празнини във вулканитите, отлагайки в тях SiO_2 фази и формирайки както микроахати, така и различни по големина и форма геоди. Многократното редуване на ивици от различни SiO_2 фази е указание за стадийност в минералообразователните процеси, обусловена от пулсацията на разтворите и промяната на физикохимичните условия. В локални участъци разтворите са имали повишена S фугитивност и значително съдържание на Fe йони, което е било предпоставка за образуване на сулфидите. С развитието на кристализационния процес те са придобили окислителен характер, в резултат на който са формирани определена част от оксидите и хидроксидите. Останалите от тях вероятно са резултат от супергенната промяна на част от първичните сулфида. Според Sunagawa and Ohta (1976), хоризонталната паралелно-ивичеста зоналност при ахатите бележи заключителния стадий на тяхното формиране. В нашия случай тази зоналност е изградена от редуването на опалови и халцедонови слоеве с различна дебелина и е указание както за финалния стадий на ахатообразуването в района, така и за пулсационния характер на минерализираните разтвори и промените в техните

физикохимични параметри. Колебанията в кристализационните условия през този стадий са довели

до формирането на най-атрактивната част от ахатовите геоди от района на с. Татарево, изграждайки в тях участъци с ониксов тип текстура.



Фиг. 4. Микрофотографии на ахати от района на с. Татарево, Хасковско. PLM (a-e): а, б – редуване на различни микроструктурни типове халцедон; в – опал (дясно) и различни микроструктурни типове халцедон около него; г – халцедонов сферолити (CHHLF) с опалово ядро; д – халцедон пигментиран от финодиспергирани в него на Fe сулфиди, Fe и Mn оксиди и хидроксиди; е – дендритовидни Fe оксиди и хидроксиди в халцедон. Маркер: а-е – 0.4 mm; а, б +N, в-е II N. SEM (ж, з): ж – ивици от Fe и Mn оксиди и хидроксиди, разделящи различни микроструктурни типове халцедон; з – фрамбоиди от Fe сулфиди. Маркер: ж – 100 μm; з – 10 μm

Литература

- Боянов, И., Д. Кожухаров, А. Горанов, Й. Янев, Ж. Шиляфова, М. Русева. 1990. *Геоложка карта на България в М 1:100000*, к.л. Искра, С.
- Боянов, И., Д. Кожухаров, А. Горанов, Ж. Шиляфова, М. Русева. 1995. *Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100000*, к.л. Искра, С., ГИ БАН, Геология и геофизика, 77 с.
- Годовиков, А. А., О. И. Рипинен, С. Г. Моторин. 1987. *Агаты*. М., Недра, 368 с.
- Иванов, Р. 1963. Магматизмът в Източнородопското понижение. Част II – петрохимическо развитие и провинциални особености. – *Тр. геол. България, Сер. Геохим., минерал. и петрогр.*, 4, 294-323.
- Киевленко, Е. Я., Н. Н. Сенкевич. 1976. *Геология месторождений поделочных камней*. М., Недра, 280 с.
- Пантева, В. 1996. Строеж на киселите палеогенски вулкански тела от района на с. Татарево, Хасковско. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 57, 1, 21-26.
- Харковска, А., В. Пантева, Дж. Пе-Пайпър. 1997. Нови геоложки, петрохимични и геохимични данни за палеогенските вулканити от района на селата Татарево и Гарваново, Хасковско. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 58, 2, 83-94.
- Цинцов, З., Б. Банушев, Е. Вулев. 2006. Сагенинови ахати от Източните Родопи. – *Минно дело и геология*, 10, 36-40.
- Янев, Й., Б. Караджова, А. Андреев. 1983. Распределение щелочей и генезис кислых вулканитов в части Восточно-Родопского палеогенского понижения. – *Geologica Balc.*, 13, 3, 15-45.
- Dabovski, C., A. Harkovska, B. Kamenov, B. Mavrudchiev, G. Stanisheva-Vassileva, Y. Yanev. 1991. A geodynamic model of the Alpine magmatism in Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 21, 4, 3-15.
- Flörke, O. W., H. Graetsch, B. Martin, K. Röller, R. Wirth. 1991. Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure. – *N. Jb. Mineral. Abh.*, 163, 19-42.
- Le Bas, M. J., R.W. Le Maitre, A. Streckeisen, B. Zanettin. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. – *J. Petrology*, 27, 745-750.
- Le Maitre, R. W (ed). 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Blackwell Sci Public., Oxford, 193 p.
- Moxon, T. 1996. *Agate Microstructure and Possible Origin*. Doncaster, Terra Publications, 106 pp.
- 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.
- Sunagawa, I., E. Ohta. 1976. Mechanism of formation of chalcedony. – *Tohoku Univ. Sci. Report, Ser. 3*, 13, 2, 131-146.
- Tsintsov, Z., B. Banushev, R. Pazderov. 2001. Mineralogical characteristic of Paleogene coral agates from Eastern Rhodopes, Bulgaria. – *N. Jb. Miner. Mh.*, 10, 464-480.
- Tsintsov, Z., B. Banushev, T. Zdravtchev. 2002. Characteristics of agates from Kostino village region, Kurdjali district (Bulgaria) – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 55, 9, 67-72.
- Yanev, Y. 1998. Petrology of the Eastern Rhodopes Paleogene acid volcanics, Bulgaria. – *Acta Volcanol.*, 10, 265-277.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ

КАЛЦИЕВ ФИЛОМАНГНАТ (РАНСИЕИТ) ОТ ЖЕЛЕЗОРУДНОТО НАХОДИЩЕ КРЕМИКОВЦИ

Маргарита Василева, Калин Русков

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700
E-mail: marvas@mgu.bg; rouskov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Наличие на Са-филоманганат (рансиеит) е установено в лимонитите от железорудното находище Кремиковци и сред вместващите орудяването карбонатни скали. Рансиеитът е наблюдаван в тясна асоциация с Fe и Mn оксиди и хидроксиди (гоетит, лепидокрокит, вторичен хематит, романешит, фази от изоструктурната серия криптомелан-холандит-коронадит, тодорокит и др.), супергенен калцит и барит. Проведени са СЕМ и ТЕМ, рудна микроскопия, рентгеноструктурни анализи, количествени рентгеноспектрални микроанализи и ИЧС, за изучаване на морфоложките особености, структурата, химизма и спектроскопските характеристики на рансиеита. Праховите рентгенови данни на изследваната фаза съответстват на еталонните (JCPDS 22-718). В някои от анализиранияте рансиеитови образци е установено присъствие на примес от тодорокит. Данните от извършените EMPA показват, че основните компоненти в рансиеита са представени от Mn и Ca, но се наблюдават известни вариации в съдържанието на Ca. Установяват се и повишени концентрации на Mg и Ba. Регистрираният ИЧС се съгласува добре с публикуваните в литературата спектри на рансиеит (Potter and Rossman, 1979) и се характеризира с присъствието на една основна ивица на поглъщане при 440-445 cm⁻¹, по-слабо изразена ивица при 505 cm⁻¹ и рамо при 685 cm⁻¹. В лимонитите от железорудното находище Кремиковци рансиеитът има супергенен произход. Минералът представлява късно образуване и най-вероятно е отложен през постплиоценския окислителен стадий от формирането на зоната на супергенеза.

CA-PHYLLOMANGANATE (RANCIEITE) FROM THE KREMIKOVTSI IRON DEPOSIT

Margarita Vassileva, Kalin Ruskov

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

ABSTRACT. Ca-phyllomanganate (rancieite) was detected in the limonites from the Kremikovtsi iron deposit, as well as within the host carbonate rocks. The mineral was found in an association with Fe and Mn oxides and hydroxides (goethite, lepidocrocite, secondary hematite, romanechite, phases from the isostructural series cryptomelane-hollandite-coronadite, todorokite and other), supergene calcite and barite. The morphology, structural features, chemical composition and spectroscopic characteristic of rancieite were studied by standard techniques including SEM, TEM, reflected light microscopy, XRD, EMPA and IRS. The powder-diffraction data correspond with the standards (JCPDS 22-178). Todorokite impurity phase is found in some of the analysed rancieite samples. Data from EMPA suggest that the main components in rancieite are presented by Mn and Ca, but some variations in the Ca content are observed. Enriched Mg and Ba content is found as well. The IR spectrum corresponds well to the rancieite spectra reported by Potter and Rossman, (1979). It is characterized by the presence of a main absorption band with maxima at 440 – 445 cm⁻¹, a secondary band at 505 cm⁻¹ and a shoulder at 685 cm⁻¹. Rancieite is of a secondary origin in the oxidation zone from the Kremikovtsi iron deposit. The mineral is formed at the end of mineralization process and most probably has been precipitated during the post Pliocene oxidation stage of the oxidation zone formation.

Въведение

Рансиеитът е недостатъчно добре изучен хидратиран Са-Mn оксид със състав, съответстващ на идеализираната формула (Ca,Mn)Mn₄O₉·3H₂O (Richmond et al., 1969) или Ca₂Mn₆⁴⁺O₁₄·6H₂O (Чухров и др., 1979). Минералът притежава слоиста структура, аналогична на бирнеситовата, основана на слоеве от съединени по страничните им ребра [MnO₆] октаедри, с разположени в междуслоевите катиони и молекули вода (Bardossy and Brindley, 1978; Potter and Rossman, 1979; Чухров и др., 1979; Ertl et al., 2005). Според Чухров и др., (1979), Post and Veblen, (1990) бирнеситовата структура е от халкофанитов тип, но се отличава с присъствието на неопределени вакансии в октаедричните слоеве, вида и позициите на междуслоевите катиони и молекулната вода. Бирнеситовата група минерали, означавани още като филоманганати, според Post (1999) включва

изоструктурните фази бирнесит, рансиеит и таканелит, чиито състав може да бъде изразен с общата формула (Na,Ca,Mn²⁺)Mn₇⁴⁺O₁₄·2,8H₂O. В природни условия са установени твърди разтвори на рансиеит с таканелит (Mn²⁺,Ca)Mn₄⁴⁺O₉·3H₂O, а неотдавна в Ю. Корея за пръв път е открит и Zn-аналог на рансиеита – минералът чимоит (Zn,Ca)Mn₄⁴⁺O₉·3,85H₂O (Kim, 1991, 1993, 2002).

Филоманганатите от бирнеситовата група се срещат в окислителните зони на Mn-съдържащи рудни находища, в океанските Fe-Mn конкреции и почвите, най-често под формата на крипнокристални до финодисперсни образувания, което затруднява изучаването на кристалохимичните им особености. Базалното междуплоскостно разстояние d₀₀₁ на природните и синтетични фази от тази група е около 7Å, но показва известни вариации в зависимост от вида на

междуслоевите катиони и молекулната вода (Чухров и др., 1979; Chukhrov et al., 1980; Kim, 1991, 1993).

През последните десетина години се извършват интензивни изследвания на синтетични филоманганати от бирнеситов тип (включително и на химично и структурно модифицирани), тъй-като те представляват микропорести материали, с оглед съвременното им индустриално приложение като йонни и молекулни сита, йонообменници, сорбенти на тежки метали и радиоактивни елементи, катализатори, катоди и др. (Post, 1999; Feng et al., 1999). Синтезирани са 7Å филоманганати от рансиеитов тип, за изучаване приложимостта им като катоди за многократно зареждащи се литиеви батерии, за преносимите микроелектронни устройства (Leroux et al., 1995; Woo et al., 2003). Експерименталните изследвания, проведени от Duff et al. (1999), Bish et al. (2003) показват, че природният рансиеит е много добър селективен сорбент на Рu и има изключително важно значение, като компонент на геоложката среда, подходяща за депониране на високоактивни и дългоживущи радиоактивни отпадъци. Във връзка с изграждането на подземно хранилище за високоактивни отпадъци и отработено ядрено гориво в Yucca Mountain, Невада, САЩ, същите автори изучават вместиращите скали, представени от зеолитизирани риолитови туфи, съдържащи незначителни количества от смектити, Fe и Mn оксиди (рансиеит). Те установяват, че за разлика от зеолитите, които са сорбенти на краткосъживущите радионуклиди ^{137}Cs и ^{90}Sr , присъстващият в туфите рансиеит е селективен сорбент на дълго-живущите актиниди и представлява ефективна природна, геоложка бариера, възпрепятстваща миграцията им.

Две находки на рансиеит са установявани в страната ни - в окислителната зона на железорудното находище Кремиковци (Радонова и др., 1967; Василева, Русков, 2006) и в Източното Средногорие, в мангановата минерализация сред горнокредни вулканогенно-седиментни скали при с. Раклица, Карнобатско (Василева, Банушев, 1994; Banushev, Vassileva, 1994). Според някои автори (Радонова и др., 1967) описваната от Василев и др. (1959) първа находка на рансиеит в България от мангановите руди във Варненско е недостоверна, за което свидетелствуват приведените рентгенографски и термографски данни на тази фаза.

В находище Кремиковци рансиеитът е наблюдаван в миналото от Радонова и др., (1967) сред празнини и пукнатини в лимонитите. Присъствие на рансиеит и по-често на рансиеит с примеси от тодорокит, бе установено по-късно както сред лимонитите, така и сред вместиращите карбонатни скали от находището, сред по-високите хипсометрични нива в експлоатационната кариера на рудника (х-т 604). Лимонитите заемат над 2/3 от обема на находището и са образувани в резултат на супергенното изменение предимно на първичен мангансидерит, и в по-малка степен – на феродоломит-анкерит и сулфиди (Атанасов, 1977; Канурков, 1988). Формирани са през продължителен екзогенен етап, включващ два окислителни стадия (пред- и следплиоценски) и един редукционен (плиоценски) стадий. Съставени са главно от Fe и Mn оксиди и хидроксиди - гьотит, вторичен хематит, лепидокрокит, романешит, минерали от изоструктурната

сериа криптомелан-холандит-коронадит, пиролизит, манганит, тодорокит и др. В лимонитите присъстват и супергенни карбонати, сулфати, сулфиди и др., отложени в субредукционни условия, при заливането на находището от водите на плиоценско езеро.

В настоящата работа се привеждат резултати от проведените изследвания за изучаване на морфоложките, структурните и спектроскопски особености и химизма на рансиеит от находище Кремиковци, с оглед получаване на по-пълна характеристика на минерала. Публикуваните в литературата данни за състава, физичните свойства, термичното поведение, спектроскопски и други особености на тази фаза, в някои случаи са непълни и (или) противоречиви, вследствие нехомогенността на минерала. Чухров и др. (1979) подчертават, че в много от литературните източници, включително и за рансиеита от класическото находище в Рансие, Франция (Perseil, 1967), с наименованието "рансиеит" са описвани нееднородни минерални агрегати, представляващи най-често механични смеси на рансиеит с тодорокит или на тодорокит с други фази.

Материал и методика

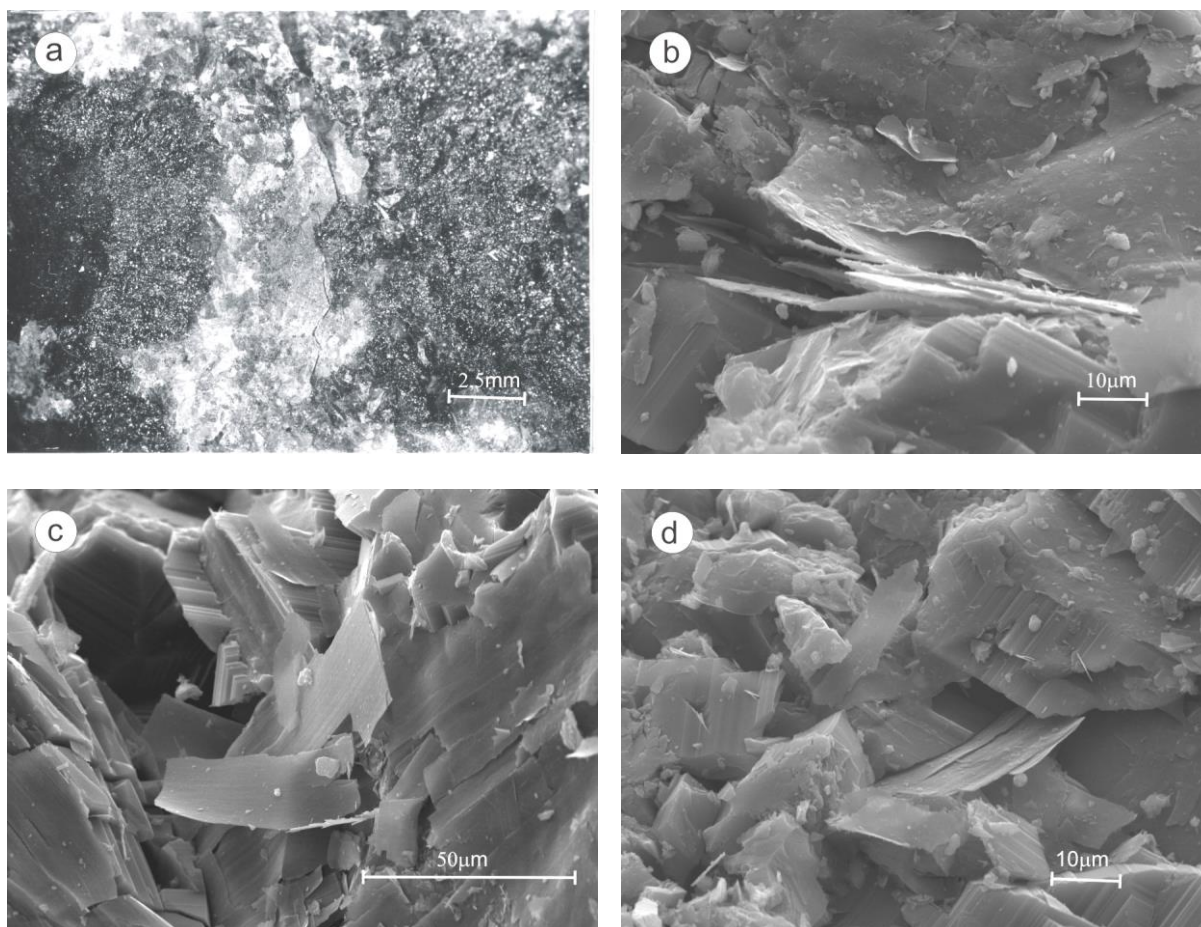
Проведени са електронно-микроскопски изследвания (СЕМ и TEM), оптична микроскопия в отразена светлина, рентгеноструктурни анализи, количествени рентгеноспектрални микроанализи и инфрачервена спектроскопия, за изучаване на морфоложките особености, структурата, химизма и спектроскопските характеристики на рансиеита. Сканиращата електронна микроскопия е извършена със сканиращ електронен микроскоп JEOL JSM-T 20 в МГУ "М. В. Ломоносов", Москва, Русия, както и с електронен микроскоп JEOL "Superprobe 733". Трансмисионната електронна микроскопия е проведена за изучаване микроморфоложките особености и хомогенността на минерала, с помощта на трансмисионен електронен микроскоп JEM 100 C с разрешителна способност 7Å, оборудван с гониометър и енергийно-дисперсионна приставка "Kevex 5100". Тя е извършена в ИГЕМ, Москва, Русия. Изследвани са препарати суспензии и са регистрирани електронограми от плоскостта (001) на люспести рансиеитови индивиди и рансиеит-тодорокитови частици. Микроскопските наблюдения в отразена светлина са проведени с микроскоп POLAM-P311. Рентгеноструктурните анализи са осъществени с апарат TUR-M-60 (камера с $d=57,3\text{ mm}$) в МГУ "Св. Иван Рилски". Количествените рентгеноспектрални микроанализи са извършени на сканиращ електронен микроскоп JEOL JSM 35 CF, с рентгенов микроанализатор Tracor Northern TN-2000, във фирма "Евротест-контрол", АД, София. Използвани са следните еталони: за Mn, Fe – чисти метали, за Ca, Mg, Si – диоксид, за K – биотит, за Ba – барит, за Na – албит и за Al – корунд. Инфрачервените спектри на изследваната фаза са регистрирани с двулъчев инфрачервен спектрофотометър UR-10 на фирмата Karl-Zeiss, Jena, в лабораторията по молекулна спектроскопия при ВХМУ, София. Спектрите са заснети в диапазона 400-3800 cm^{-1} , като са използвани призми съответно от KBr (400-700 cm^{-1}), NaCl (700-2000 cm^{-1}) и LiF (2000-3800 cm^{-1}).

Резултати и дискусия

Морфоложки особености

Наличие на рансиеит бе установено сред вместващите находището доломитизирани варовици и сред лимонитите. Сред вместващите скали минералът се среща под формата на финолюспести агрегати, отложени по повърхността на прозрачно-бистри ромбодрични индивиди от супергенен калцит, или проникващи в тях, на места съпътствани от черни, саждести, рентгеноаморфни Мп хидроксида (фиг. 1а). Асоциацията на рансиеита със супергенен калцит е твърде характерна и отбелязвана и от други изследователи (Ertl et al., 2005). Рансиеитът образува финолюспести, на места ветриловидно подредени агрегати и кафявочервеникави налепи със

силен блясък, с големина от порядъка на няколко mm. Характеризира се с ниска твърдост (до 2,5 по Моос) и ниска относителна плътност. Цветът на праха и чертата на минерала е кафявочервен. Рансиеит бе наблюдаван и в шупли и празнини в лимонитите, в тясна асоциация с Fe и Mn оксиди и хидроксида (гьотит, лепидокрокит, вторичен хематит, романешит, криптомелан-холандит), супергенен калцит и барит. В някои от изследваните образци е установен примес от тодорокит. Рансиеит-тодорокитовите агрегати са с люспеста морфология, отличават се с бронзовозлатисти или сребристосиви оттенъци по повърхността, имат много силен блясък и най-често са отложени върху коломорфен гьотит. При допир лесно се разрушават.



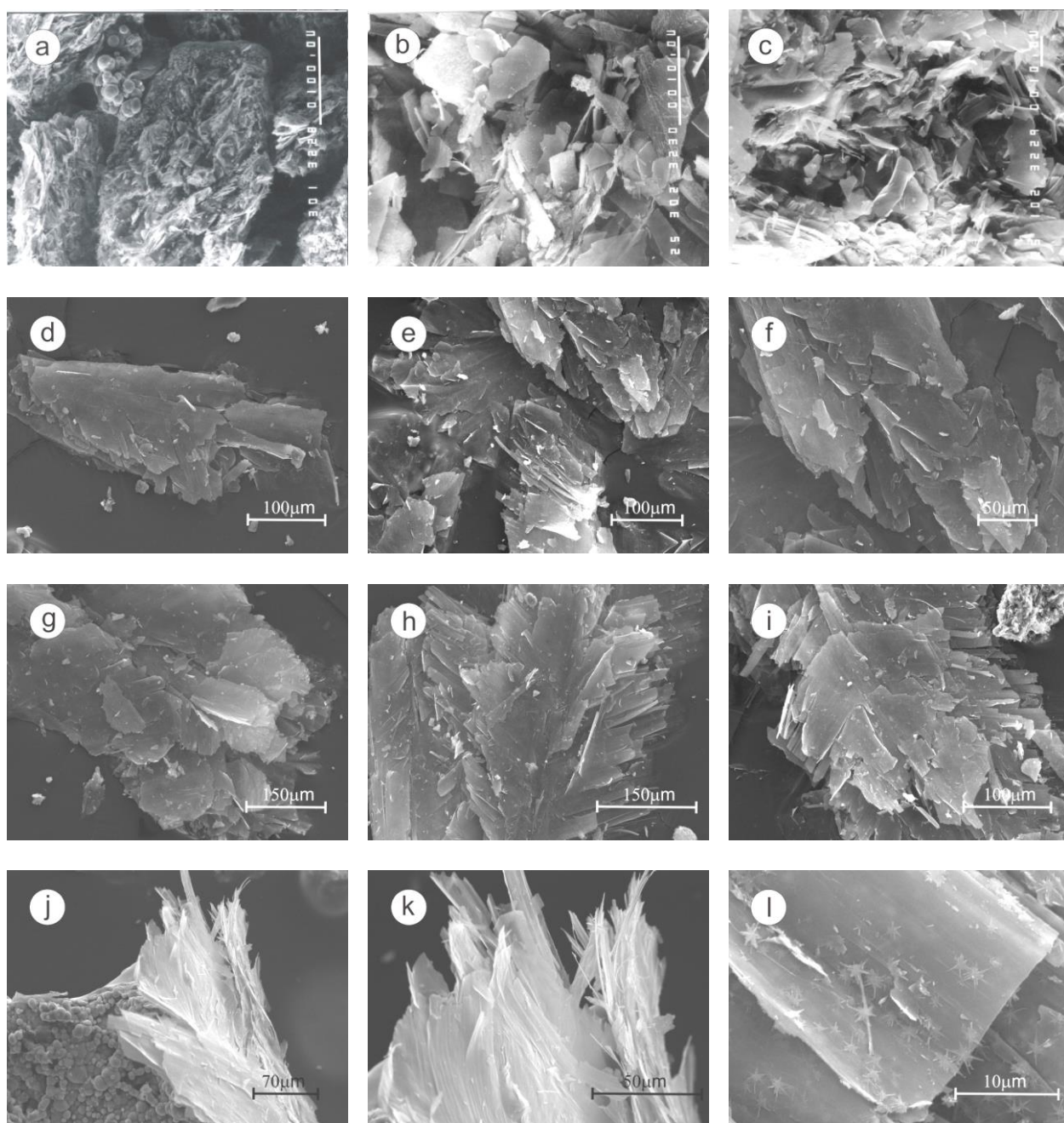
Фиг. 1. Финолюспести рансиеитови агрегати и индивиди от находище Кремиковци: а) люспести рансиеитови агрегати, отложени върху супергенен ромбодричен калцит, а на места и върху вместващите орудяването доломитизирани варовици; б, с, d) СЕМ микрофотографии на люспести агрегати и индивиди от рансиеит, в асоциация със супергенен калцит

При извършената СЕМ се наблюдава люспеста, плочеста морфология на отделните самостоятелни рансиеитови индивиди, чиято големина достига до стотина μm, а дебелината е под 1 μm (фиг. 1 б, с, d). Рансиеит - тодорокитовите агрегати показват плочеста, люспеста морфология (фиг. 2 а-и), в някои случаи с много характерна, своеобразна паралелна дезинтеграция на отделни фрагменти, с ширина няколко десетки μm (фиг. 2 h, i) или влакна, с дебелина под 1 μm (фиг. 2 j, k). Дезинтеграцията на фини влакна с дебелина под 1 до стотни части от μm, представлява характерна микроморфоложка особеност на люспестите тодорокитови

индивиди, отбелязвана от редица изследователи (Чухров и др., 1978, 1989; Ostwald, 1986). Според Straczek et al. (1960) тази микроморфоложка особеност е свързана с наличието на свършена цепителност по {001} и {100} в минерала. При по-големи увеличения в СЕМ в някои от изучаваните рансиеит-тодорокитови агрегати се установява присъствието на мрежести тройни срастъци от финовлакнести индивиди, образуващи ъгъл от 120° помежду си (фиг. 2 l). Подобни тройни мрежести срастъци от финовлакнести индивиди са наблюдавани и в суспензионни препарати в TEM, при изучаването на тодорокит от находището (Василева, Смольянинова, 1996).

Тези срастъци са много характерни и с диагностично значение за тодорокита (Чухров и др., 1978, 1981, 1985, 1989; Turner, Buseck, 1981; Turner et al., 1982). Някои автори като Post and Bish (1988) считат, че описаните тодорокитови мрежести срастъци указват за образуването на минерала, за сметка на трансформацията на филоманганатите бирнесит или бузерит. Други автори (Чухров и др., 1979; Chukhrov et al., 1980) застъпват противоположната теза и смятат, че много често филоманганатът рансиеит се образува в резултат на трансформацията на тодорокит, под въздействието на

повърхностни Са-съдържащи разтвори, при което се съхраняват морфоложките характеристики на изходната, замествана минерална фаза. Факторите, контролиращи в природни условия фазовите преходи между Mn оксиди със слоиста и тунелен тип структура не са добре изяснени. В лабораторни условия синтетичните филоманганати (бирнесит), представляващи микропорести материали, се използват като прекурсори за твърдофазов хидротермален синтез на мезопорести материали с тунелен тип структура (тодорокит) (Feng et al., 1999).



Фиг. 2. SEM микрофотографии на финолюспести рансиеит-тодорокитови агрегати от находище Кремиковци: а) люспести рансиеит-тодорокитови агрегати, в асоциация с коломорфен гътит в лимонити; b, c, d, e, f, g) люспести рансиеит-тодорокитови агрегати; h, i, j, k) Дезинтеграция на рансиеит-тодорокитови люспести и плочести агрегати; l) тройни срастъци от финовлакнести тодорокитови индивиди, върху плочести рансиеит-тодорокитови агрегати

Химичен състав

Количествени рентгеноспектрални микроанализи са проведени на видимо хомогенни под микроскоп рансиеитови индивиди и агрегати. Получените резултати показват, че основните компоненти в минерала са представени от Са и Мп, но се установяват и повишени концентрации на Mg и Ва (табл. 1). Наблюдават се известни вариации в съдържанията на основните компоненти, като преобладаващите съдържания на СаО са в интервала 6,19-7,62%. В единични случаи съдържанието на СаО достига до 10,94%, вероятно поради захващане по време на анализа на част от калцитовата матрица, в която е включен минералът. В литературните източници са описани няколко находки на рансиеит с високо съдържание на Са (с СаО над 12% – Franus et al., 2000; с СаО=11,9% – Finkelman et al., 1974; с СаО=10,56% – Ertl et al., 2005). Анализираният рансиеит от находище

Кремиковци е твърде сходен по състав с този от Mazzano Romano, Латиум, Италия (Barrese et al., 1986). Последният се отличава с ниска степен на структурна подреденост и дифрактограмите му показват само 3 уширени рефlekса (табл. 2). Наблюдаван е под формата на блестящи, черни, сталактитовидни и коломорфни фиоивичести агрегати, отложени по стените на пукнатини и кухини в туфи (Barrese et al., 1986).

Кристалохимичните формули на минерала са изчислени на базата на $O=9$, въз основа на идеализираната формула $(Ca, Mn)(Mn_4O_9) \cdot 3H_2O$. Счита се, че манганът в рансиеита е представен главно от Mn^{4+} , но присъстват и известно количество Mn^{3+} катиони (в слоевете от $[MnO_6]$ октаедри) и Mn^{2+} (в позициите на Са в междуслоевите пространства) (Чухров и др., 1979; Ertl et al., 2005).

Таблица 1

Химичен състав на рансиеит от находище Кремиковци и други находища в чужбина: 1 – рансиеит, Фриезах, Каринтия, Австрия (Ertl et al., 2005); 2 – рансиеит, Шелия, Урал, Русия (Чухров и др., 1979); 3 – рансиеит, Mazzano Romano, Латиум, Италия (Barrese et al., 1986); 4-9 – рансиеит, находище Кремиковци; други* – $As_2O_5=0,18\%$; $P_2O_5=0,17\%$; $Cl=0,12\%$.

Оксиди	Съдържание (тегл. %)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MnO ₂	69,21	76,22	71,90	76,28	76,06	76,86	75,38	75,75	75,05
Mn ₂ O ₃	7,08	-	-	-	-	-	-	-	-
MnO	0,88	-	-	-	-	-	-	-	-
CaO	10,56	8,20	6,11	6,44	6,28	6,43	6,19	7,26	7,62
MgO	0,21	-	1,53	2,69	1,93	1,78	1,05	1,18	1,25
Na ₂ O	-	-	0,53	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0,55	0,25	0,86	0,69	0,70	0,52	1,47	0,76	0,53
BaO	0,20	-	2,85	2,94	3,98	4,62	3,72	4,07	4,04
Al ₂ O ₃	-	0,61	0,14	0,37	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	0,18	0,15	-	-	-	0,78	0,80	0,64	0,76
FeO	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-
SiO ₂	-	0,09	0,41	0,46	0,70	1,01	0,79	0,35	1,75
TiO ₂	-	-	0,21	-	-	-	-	-	-
други*	-	-	0,47	-	-	-	-	-	-
H ₂ O	11,13	14,48	nd	10,13	10,35	8,00	10,60	9,99	9,00
Σ	100,00	100,00	85,07	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Кристалохимични формули:

4. $(Ca_{0,53}Mg_{0,31}Ba_{0,09}K_{0,07})_{1,00}Mn^{4+}_{4,02}O_9 \cdot 2,58H_2O$; 5. $(Ca_{0,52}Mg_{0,22}Ba_{0,12}K_{0,07})_{0,93}Mn^{4+}_{4,05}O_9 \cdot 2,66H_2O$
6. $(Ca_{0,52}Mg_{0,20}Ba_{0,14}K_{0,05}Fe_{0,05})_{0,96}Mn^{4+}_{4,02}O_9 \cdot 2,02H_2O$; 7. $(Ca_{0,52}K_{0,15}Mg_{0,12}Ba_{0,11}Fe_{0,05})_{0,95}Mn^{4+}_{4,05}O_9 \cdot 2,75H_2O$
8. $(Ca_{0,60}Mg_{0,13}Ba_{0,12}K_{0,07}Fe_{0,04})_{0,96}Mn^{4+}_{4,03}O_9 \cdot 2,56H_2O$; 9. $(Ca_{0,63}Mg_{0,14}Ba_{0,12}K_{0,05}Fe_{0,04})_{0,98}Mn^{4+}_{4,01}O_9 \cdot 2,32H_2O$

Рентгенографска характеристика и спектроскопски особености на рансиеита

Праховите рентгенови данни на рансиеита от находище Кремиковци (табл. 2) са много близки до тези на рансиеит от находищата Шелия и Акерман, Урал, Русия (Чухров и др., 1979) и са в съответствие с еталонните данни за минерала (JCPDS 22-718). Регистрираните дебаеграми се характеризират с уширени рефlekси, указващи за известна структурна неопределеност. В дебаеграмите на някои от изследваните образци присъства много слабо изразена линия с d – стойности 4,84 Å, или се установяват линии с 9,6 и 4,84 Å, свидетелстващи за налични примеси от тодорокит. Извършените изследвания показват, че в окислителната

зона на находището освен мономинерални образувания от рансиеит и тодорокит се срещат и фини смеси, с различни количествени съотношения на двата минерала. Електронोगрами на монокристален рансиеит и на рансиеит, с примеси от тодорокит са показани на фиг. 3.

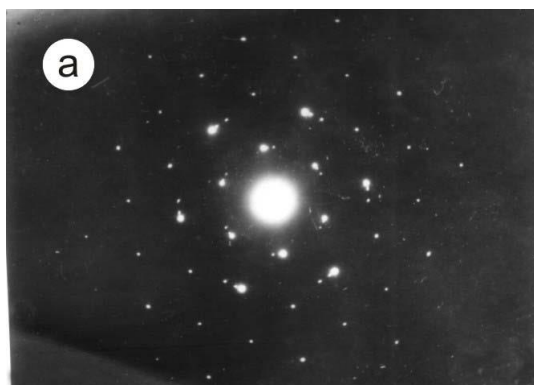
Публикуваните досега в литературата рентгенови данни на минерала, са индексирани на базата на хексагонална елементарна клетка. Ertl et al., (2005) за пръв път описват кристален рансиеит, чиято дебаеграма се отличава с голям брой линии (19) и с помощта на структурни изследвания и Rietveld метод установяват, че изследваният минерал най-вероятно е тригонал.

Таблица 2

Прахови рентгенови данни на рансиеит от находище Кремиковци и други находища в чужбина

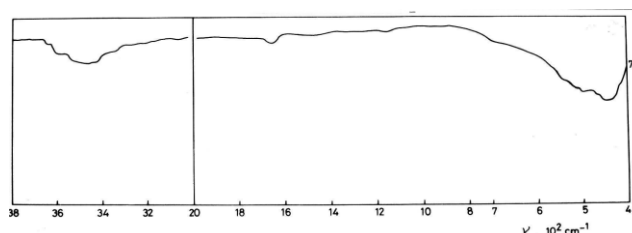
1			2			3			4			5			6		
hkl	d(Å)	I	d(Å)	I		d(Å)	I		d(Å)	I		d(Å)	I		d(Å)	I	
001	7,49	100	7,5	10		7,50	10		7,44	100		7,508	10		7,4	10	
002	3,74	14	3,75	8		3,74	8		3,69	37		3,736	8		3,74	7	
-	-	-	-	-		-	-		-	-		3,365	3		-	-	
100	2,463	10	2,48	7		2,48	7		2,46	22		2,465	4		2,48	6	
101	2,342	6	2,36	6		2,35	7		-	-		2,354	6		2,36	6	
102	2,064	2	2,08	3		2,07	4		-	-		2,063	2		2,07	3	
-	-	-	-	-		-	-		-	-		1,922	1		-	-	
103	1,758	2	1,76	4		1,766	4		-	-		1,761	5		1,766	3	
-	-	-	-	-		-	-		-	-		1,643	1		-	-	
-	-	-	-	-		-	-		-	-		1,495	1		-	-	
110	1,425	4	1,427	7		1,433	7		-	-		1,429	2		1,431	6	
111	1,397	2	1,400	2		1,400	2		-	-		-	-		1,403	1	
-	-	-	-	-		-	-		-	-		1,377	1		-	-	
-	-	-	-	-		-	-		-	-		1,284	1		-	-	

1. Рансиеит, JCPDS 22-718; 2. Рансиеит, Шелия, Урал, Русия (Чухров и др., 1979); 3. Рансиеит, Акермановско находище, Урал, Русия (Чухров и др., 1979); 4. Рансиеит, Mazzano Romano, Латиум, Италия (Barres et al., 1986); 5. Рансиеит, находище Кремиковци (Радонова и др., 1967); 6. Рансиеит, находище Кремиковци (Василева, Русков, 2006)



Фиг. 3. Електронोगрами на рансиеит (а) и рансиеит-тодорикитови агрегати (б) от находище Кремиковци

Инфрачервеният спектър на рансиеита от находище Кремиковци (фиг. 4) е в съответствие с еталонните спектри на минерала, публикувани от Potter and Rossman (1979). Регистрираният спектър е близък до този на рансиеит от провинция Ориенте, Куба (Potter, Rossman, 1979) и се характеризира с присъствието на една основна ивица на поглъщане при $440\text{--}445\text{ cm}^{-1}$, по-слабо изразена ивица при 505 cm^{-1} и рамо при 685 cm^{-1} . В получения инфрачервен спектър, се наблюдават уширени абсорбционни ивици при 1660 cm^{-1} и в интервала $3420\text{--}3540\text{ cm}^{-1}$, свидетелстващи за наличието на молекулна вода в минерала. Според Potter and Rossman (1979) в инфрачервените спектри на рансиеита могат да бъдат наблюдавани известни вариации, свързани с различната степен на структурна подреденост. Същите автори подчертават, че в някои случаи инфрачервените спектри на рансиеит и неопределени фази от бирнесит и тодорикит са твърде сходни помежду си, но могат да бъдат разграничени на базата на диагностичната ивица 4, която за рансиеита се изяснява като рамо при около 680 cm^{-1} , докато за другите два минерала тази ивица е съответно при 750 и 760 cm^{-1} .



Фиг. 4. Инфрачервен спектър на рансиеит от находище Кремиковци

Заклучение

Рансиеитът има незначително разпространение в окислителната зона на находище Кремиковци. Минералът се среща в асоциация със супергенен калцит, както и в кухни сред лимонитите, в асоциация с Fe и Mn оксиди и хидроксиди. Рансиеитът представлява късно образувание и най-вероятно е отложен през постплиоценския окислителен стадий от формирането на зоната на

супергенеза. Според Чухров и др. (1979) високото съдържание на нисковалентни Mn катиони, свидетелствува за образуването на минерала при известен недостиг на кислород. В лимонитите от находището се срещат мономинерални агрегати от рансиеит и тодорокит, както и фини смеси на двата минерала.

Освен в находище Кремиковци, рансиеит е диагностициран в България в Източното Средногорие, в мангановото рудопроявление сред горнокредни вулканогенно-седиментни отложения при с. Раклица, Карнобатско. Присъствие на рансиеит в манганови минерализации свързани с прояви на горнокредна вулканска дейност, може да се очаква и в други райони в страната, а също и в окислените манганови руди във Варненско. При установяването на такива находки сред вулканити, последните биха представлявали интерес за изследване, с оглед изучаване възможностите за тяхното приложение, като материал за изолация и покрития в хранилищата за радиоактивни отпадъци.

Литература

- Атанасов, В. 1977. Особенности на полиметалната минерализация в находище Кремиковци. – В: *Проблеми на комплексното използване на кремиковската руда. IV Нац. конф. по черна металургия*, С., т. 1, 20-32.
- Василев, Л., Н. Запрянова, Н. Никифоров. 1959. Изследвания върху мангановите руди и включващия ги комплекс от Варненско. – *Год. у-ние за геол. проучвания*, 8, 139-210.
- Василева, М., Б. Банушев. 1994. Върху мангановата минерализация при с. Раклица, Карнобатско. – *Год. МГУ*, 40, 1, 79-85.
- Василева, М., В. Смолъянинова. 1996. Тодорокит с $a_0=24.38 \text{ \AA}$ и неподредена разновидност на минерала от находище Кремиковци. – *Год. МГУ*, 41, 1, 49-54.
- Василева, М., К. Русков. 2006. Минераложки особености на Са-филоманганат (рансиеит) от находище Кремиковци. – *Нац. конф. с междунар. участие "Геонауки 2006"*, София, 30 ноември – 1 декември 2006 г., Сб. *Разширени резюмета*, 135-138.
- Канурков, Г. 1988. *Железорудните находища в България*. С., Техника, 282 с.
- Радонова, Т. Г., Й. Даскалова, Л. Пунев. 1967. Рансиеит, коронадит и байделит – нови минерали за железорудното месторождение Кремиковци. – *Изв. Геол. инст., Сер. геохим., минер. и петрогр.*, 16, 127-133.
- Чухров, Ф. В., А. И. Горшков, А. В. Сивцов, В. В. Березовская. 1978. О структурных разновидностях тодорокита. – *Изв. АН СССР, Сер. геол.*, 12, 86-95.
- Чухров, Ф. В., А. И. Горшков, А. В. Сивцов, В. В. Березовская, Е. С. Рудницкая. 1979. О природе рансиеита. – *Изв. АН СССР, Сер. геол.*, 11, 71-81.
- Чухров, Ф. В., А. И. Горшков, А. В. Сивцов. 1981. Новая структурная разновидность тодорокита. – *Изв. АН СССР, Сер. геол.*, 5, 88-91.
- Чухров, Ф. В., А. И. Горшков, В. А. Дриц, Ю. П. Диков. 1985. О структурных разновидностях тодорокита – *Изв. АН СССР, Сер. геол.*, 12, 61-71.
- Чухров, Ф. В., А. И. Горшков, В. А. Дриц. 1989. *Гипергенные окислы марганца*. – М., Наука, 208 с.
- Bardossy, G., G. W. Brindley. 1978. Rancieite associated with a karstic bauxite deposit. – *Amer. Mineral.*, 63, 762-767.
- Barrese, E., C. Giampaolo, O. Grubessi, A. Mottana. 1986. Rancieite from Mazzano Romano (Latium, Italy). – *Mineral. Mag.*, 50, 111-118.
- Banushev, B., M. Vassileva. 1994. New manganese ore showings in the Eastern Srednogie. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 47, 6, 33-36.
- Bish, D. L., D. T. Vaniman, S. J. Chipera, J. W. Carey. 2003. The distribution of zeolites and their effects on the performance of a nuclear waste repository at Yucca Mountain, Nevada, U.S.A. – *Amer. Mineral.*, 88, 1889-1902.
- Chukhrov, F. V., A. I. Gorshkov, E. S. Rudnitskaya, V. V. Berезovskaya, A. V. Sivtsov. 1980. Manganese minerals in clays: a review. – *Clays and Clay Miner.*, 28, 5, 346-354.
- Duff, M. C., M. Newville, D. B. Hunter, P. M. Bertsch, S. R. Sutton, I. R. Triay, D. T. Vaniman, P. Eng, M. L. Rivers. 1999. Micro-xas studies with sorbed plutonium on tuff. – *J. Synchrotron Rad.*, 6 (3), 350-352.
- Ertl, A., F. Pertlik, M. Prem, J. E. Post, S. J. Kim, F. Brandstätter, R. Schuster. 2005. Rancieite crystals from Friesach, Carinthia, Austria. – *Eur. J. Mineral.*, 17, 163-172.
- Feng, Q., H. Kanoh, K. Ooi. 1999. Manganese oxide porous crystals. – *J. Mater. Chem.*, 9, 319-333.
- Finkelman, R. B., H. T. Evans, J. J. Matzko. 1974. Manganese minerals in geodes from Chihuahua, Mexico. – *Mineral. Mag.*, 39, 549-558.
- Franus, W., A. Manecki, T. Wieser. 2000. Rancieite from clinoptilolite-montmorillonite claystones of the Skole unit (the Polish Flysch Carpathians) – *Mineral. Polon.*, 31, 2, 59-73.
- Kim, S. J. 1991. New characterization of takanelite. – *Amer. Mineral.*, 76, 1426-1430.
- Kim, S. J. 1993. Chemical and structural variations in rancieite-takanelite solid solution series. – *N. Jb. Miner. Mh.*, 5, 233-240.
- Kim, S. J., H. Choi, S. Chang. 2002. Zn analogue of rancieite, a new mineral from the Dongan mine, Korea. – *18th IMA Meeting, Edinburgh, Abstracts*, 140.
- Leroux, F., D. Guyomard, Y. Piffard. 1995. The 2D rancieite-type manganic acid and its alkali-exchanged derivatives: Part II – Electrochemical behavior. – *Solid State Ionics*, 80, 3, 307-316.
- Ostwald, J. 1986. Some observations on the chemical composition of todorokite. – *Mineral. Mag.*, 50, 336-340.
- Perseil, E. A. 1967. Nouvelles données sur la rancieite du Rancie. – *C. R. Acad. Sci. Paris*, 264D, 1241-1244.
- Post, J. E., D. L. Bish. 1988. Rietveld refinement of the todorokite structure. – *Amer. Mineral.*, 73, 861-869.
- Post, J. E., D. R. Veblen. 1990. Crystal structure determinations of synthetic sodium, magnesium, and potassium birnessite using TEM and the Rietveld method. – *Amer. Mineral.*, 75, 477-489.
- Post, J. E. 1999. Manganese oxide minerals: Crystal structures and economic and environmental significance. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96, 3447-3454.
- Potter, R. M., G. R. Rossman. 1979. The tetravalent manganese oxides: identification, hydration, and structural

- relationships by infrared spectroscopy. – *Amer. Mineral.*, 64, 1199-1218.
- Straczek, J. A., A. Horen, M. Ross, C. M. Warshaw. 1960. Studies of the manganese oxides. IV. Todorokite. – *Amer. Mineral.*, 45, 11-12, 1174-1184.
- Turner, S., P. R. Buseck. 1981. Todorokites: a new family of naturally occurring manganese oxides. – *Science*, 212, 1024-1027.
- Turner, S., M. D. Siegel, P. R. Buseck. 1982. Structural features of todorokite intergrowths in manganese nodules. – *Nature*, 296, 841-842.
- Woo, S., H. Kim, C. K. Lee, H.-J. Sohn, T. Kang. 2003. Electrochemical characteristics of rancieite-type manganese oxide by mechanochemical synthesis. – *J. Power Sources*, 124, 174-181.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

СЕВЕРНОРОДОПСКА ЕКСТЕНЗИОННА СИСТЕМА: ФОКУС ВЪРХУ РАЗРЕЗА ПРИ ПЕЩЕРА

Янко Герджиков

Софийски университет „Св. Климент Охридски“, София 1504; janko@gea.uni-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Севернородопската екстензионна система (СРЕС) е регионална зона, която ограничава от север терциерните мигматити и гранити на Родопската зона. В работата се излагат данни за конкретния ход и изява на зоната в разреза по Стара река южно от Пещера. В изследвания участък СРЕС се характеризира само с присъствието на пластично деформирани скали. Лежащото крило на зоната е представено от мигматизирани гнайси (Въчанска единица), които в най-горните нива са милонитизирани. Редица кинематични индикатори маркират устойчива ССЗ посока на обемните срязвания. От интензивни синметаморфни деформации са засегнати и долните нива на висещото крило (Севернородопска единица). Излагат се данни за липсата на локализиране на крехки деформации в основата на мощния мраморен разрез, разположен в най-високите структурни нива.

NORTH RHODOPIAN EXTENSIONAL SYSTEM: FOCUS ON THE PESHTERA SECTION

Ianko Gerdjikov

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

ABSTRACT. The North Rhodopean extensional system (NRES) is a regional-scale tectonic zone forming a northern boundary of the Tertiary core of the Rhodopian zone. In this contribution new data are presented on the trace and the character of the zone along the Stara reka river (south of Peshtera). In this section NRES consist only of ductile mylonitic rocks. Spectacular localization of ductile strain is observed on the top of migmatitic footwall marked by 2-3 m thick ultramylonitic level. Asymmetric fabric indicate consistent top-to-the-N extensional shearing. The lowermost part of the hanging wall also displays evidence for intensive shearing, but kinematic indicators are showing inconsistent flow directions. Field data are incompatible with previous models for the existence of significant fault zone at the bottom of the thick marbles that have structurally highest position.

Увод

Наскоро беше съобщено за съществуването на регионална екстензионна тектонска зона, следяща се по северния ръб на Родопите и Рила (Герджиков и Готие, 2006). В зоната са представени както пластични милонити, така и крехки тектонити. Този факт, както и безразборната употреба на термина "детachment" ни накара да наречем тази тектонска зона Севернородопска екстензионна система (СРЕС).

СРЕС се следи на терена от Кричим на северозапад до с. Сестримо. Проследяването на зоната на запад е затруднено от присъствието на млади седименти и проявата на пост-олигоценски навличания. Независимо от това, екстензионните деформации са запечатани в гранитоидите от Рило-Родопския батолит, който изгражда лежащото крило на СРЕС (Gerdjikov et al., 2006). По този начин, към момента зоната е проследена от Кричим до с. Мала Църква и дължината ѝ надхвърля 90 km.

Целта на работата е да характеризира един от типите разрези през СРЕС – този по Стара река, южно от гр. Пещера (фиг. 1). Акцент е поставен върху локализацията на деформацията в пластичната зона на срязване от СРЕС. Обсъждат се спецификите на разреза по Стара река и се сравняват с разрезите при Кричим и Белово.

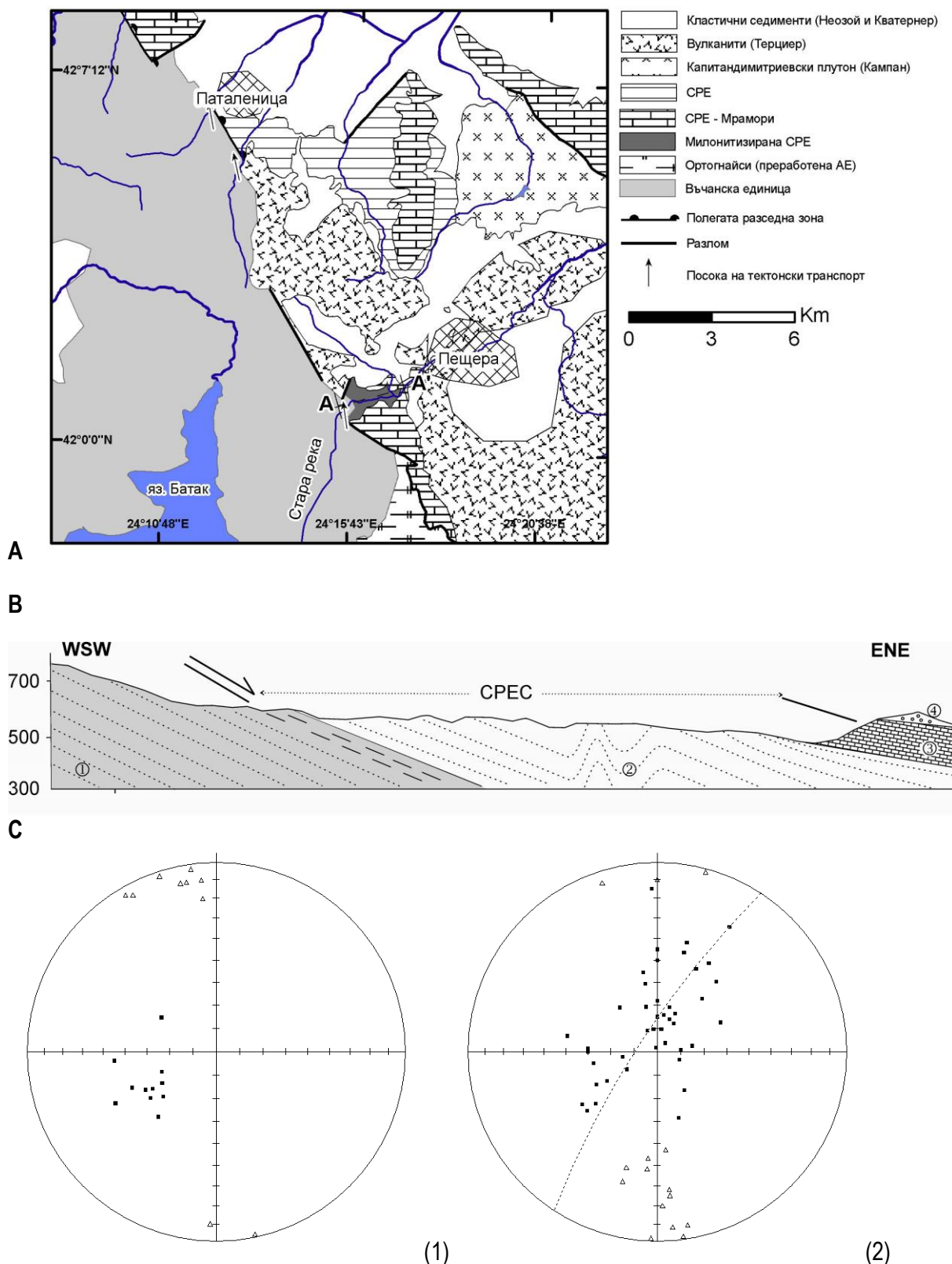
Бележки върху изучеността

Северният ръб на Родопите е бил обект на редица конкретни и обобщителни работи. В този смисъл е ясно, че това е една от най-добре проучените области от Родопската зона.

Още от работите на Яранов (1940), Бончев и др. (1951), Керев (1961) стават известни две от основните черти в геоложкия строеж: съществуването на две различни метаморфни последователности – високо и нискокристалинна, често разделени с полегат "навлачен" контакт; и навличанията на кристалинния фундамент върху терциерни седименти.

По този начин към началото на 60-те години на миналия век се налага представата за навлачния, южновергентен строеж на северния ръб на Родопите.

Яранов (1960) характеризира известните навлаци в Родопите (вкл. и тези по северния ръб на планината) като "епидермални структури".



Фиг. 1. А. Схематизирана геоложка карта на района около гр. Пещера (по Кереков, 1961 с изменения). Съкращения: CPE – Севернородопска единица; AE – Асенишка единица. А-А' – позиция на геоложкия разрез.

В. Разрез по линия А-А'. 1 – Въчанска единица; Севернородопска единица; 2 – шисти, мрамори, амфиболити и лекокатри гнайси; 3 – мрамори; 4 – Терциерни и Кватернерни седименти. С пунктир е показана средната ориентировка на фолиацията.

С. Ориентировки на проникващи структури от изследвания участък. Долна полусфера, равноплоска проекция. Диаграма (1) – милонитна зона в горните нива на Въчанската единица; диаграма (2) – долни нива на Севернородопската единица. Квадратчета – фолиация; изправени триъгълници – линейност на разтягане; пояса на диаграма (2) отразява проявата на декаметрови огъвания с оси $B=123/8$.

Изложените от Бончев (1961) идеи за контролиращата роля на Маришкия линеймент и на Кожухаров (1965) за доминирането на блоково-разломните структури в

Централните Родопи силно повлияват тектонските интерпретации. Като резултат, в продължение на години, значението на навлачните структури е подценявано.

В серия от работи Иванов и др. (1979; 1989a), Московски и Иванов (1986), Ivanov (1988) възраздат и доразвиват по-ранните идеи за навличния строеж. Иванов и др. (1989a) акцентират на значителните разлики в степента на метаморфизъм на скалите от висящия и лежащия блок, а също така разглеждат навличанията по северния ръб на Родопите като тилна част на корово-машабен, северновергентен навлак. Тези идеи са подложени на критика (Кожухаров и др., 1992) и на геоложката карта на България в М 1:100 000 са изобразени само локални навлични структури, тълкувани като незначителни "отлепвания" в кристалинния фундамент.

Прилагането на кинематичния анализ за изучаване на метаморфните скали маркира ново ниво на изученост (Иванов и др., 1989b; Burg et al., 1990; 1996). В тези работи се документира устойчива южна посока на синметаморфния тектонски транспорт, дори и в най-северните участъци, разположени непосредствено до "Севернородопския навлак". Предлагат се и първите схеми за литотектонско рачленяване на метаморфните комплекси от Родопите.

Радикално нова интерпретация на "Севернородопския навлак" предлага Иванов (1989; 1998). Границата между двата контрастно различни метаморфни комплекса се разглежда като тектонска зона тип "детачмент", като се акцентира на напълно крехкия характер на сръзванията по зоната. Друг съществен момент е разграничаването в зоната на "Севернородопския навлак" на два типа нарушения – първите свързани с крехката екстензия, а вторите – свързани с компресия и навличания по ръбовете на олигоценските басейни.

Насочени на север обемни сръзвания в метаморфитите от лежащото крило на "Севернородопския навлак" са документирани от френските геолози P. Gautier и R. Moriceau (данни от непубликувана дисертация на Moriceau, 2002). Сходни данни се излагат от Dimov and Georgiev (2000) за разреза при с. Сестримо.

В предложения наскоро модел за строежа на северния склон на Родопите и Рила (Герджиков и Готие, 2006) се акцентира на редица вече известни или нови въпроси: (1) мотивира се съществуването на дългоживуща екстензионна система; (2) документира се обемния характер на екстензионните деформации в метаморфитите от лежащото крило; (3) пост-олигоценските навличания се тълкуват като изява на краткотрайна компресия, проявена на фона на доминиращата и в наши дни екстензия.

Разрезът при Пещера

Дълбоко всечената долина на Стара река, както и шосейната мрежа дават много добра възможност за картиране и анализ на тектонитите свързани със СРЕС (фиг. 1).

Лежащо крило на СРЕС

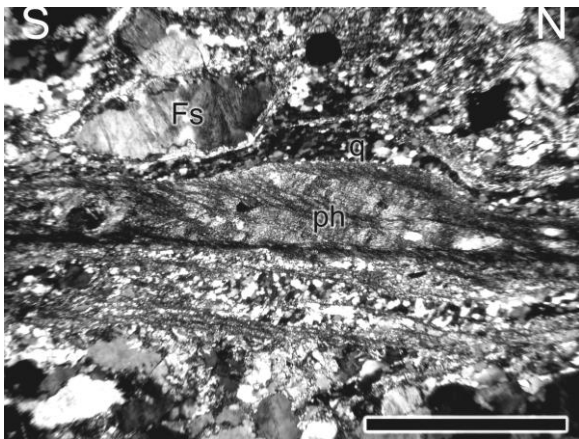
Изградено е от високостепенни, мигматизирани гнайси. Разглеждани са като "Висококристалинна серия" (Бончев и

др., 1951), "мигматизирани гнайси и амфиболити от Централнородопската група" (Иванов и др., 1989a), Богутевска свита (Кожухаров и др., 1992). Първоначално Ivanov (1988) счита тези скали за част от Асенишката единица, а в последствие ги разглежда като прилежащи към единицата Арда (Иванов, 1998). Въз основа на детайлни изследвания в долината на р. Вѝча и профилирания по долините на реките Стара и Чепинска, считаме, че високостепенните метаморфити изграждат отделна единица – Вѝчанска, която се отличава по редица белези от единицата Арда (Герджиков и Готие, 2006): (1) За единицата Арда са типични южно насочени обемни сръзвания (Burg et al., 1990), докато скалите на Вѝчанската единица запечатват доминиращо насочени на север сръзвания. Северновергентните, обемни сръзвания са особено чести във Вѝчанската единица в участъците разположени в близост до СРЕС. (2) В Арденската единица се установяват белези за висока степен на мигматизация, често достигаща до формиране на диатексити (Саров и др., 2004; Cherneva and Georgieva, 2005), докато диатекситите практически липсват във Вѝчанската единица. Този факт, въпреки липсата на количествени петроложки данни, насочва към по-ниския фациес на метаморфизма в обема на Вѝчанската единица. (3) Мигматизацията в скалите на Арденската единица е приабонска (Peucheva et al., 2004), докато за Вѝчанската единица са известни по-стари възрасти (Arnaudov et al., 1990; Cherneva et al., 2006).

В долината на Стара река Вѝчанската единица е представена основно от мигматизирани, биотитови гнайси. Тези скали запечатват високотемпературни деформации, свързани с формирането на гнайсовия строеж и мигматичните структури. Характеризират се с полегато залягаща фолиация и почти пълна липса на линейности. Към север с приближаване към СРЕС фолиацията добива устойчив наклон към север.

Пластична зона на сръзване от СРЕС

Пластичната зона на сръзване от СРЕС маркира горния контакт на Вѝчанската единица. Самият контакт се разкрива в долината на Стара река, непосредствено до изхода на тунела (при N 42.0158; E 24.262). Непрекъснати разкрития на контактната зона се намират и по северните склонове на безименния поток, който се влива в Стара река до изхода на тунела. Интензивната деформираност на мигматитовия протолит се маркира от рязка редукция в размера на зърната и развитието на проникващи и гъсто разположени фолиационни и линейни структури. Гнайсовият строеж и мигматичното разслояване се трансформират в милонитни гнайси с разкъсани и нашистени левкосоми. В тези нива се наблюдава пълен паралелизъм на левкосомите и пегматит-аплитовите жили с милонитната фолиация. Интензивно деформираните нива се бележат от очни гнайси/шисти, където "очите" представляват запазен кварц-фелдшпатов левкосомен материал. Пластичните деформации са били съпроводени от значителна флуидна активност, която се бележи от формирането на филонитни домени (фиг. 2). Те се срещат като 2-15 m ултрамилонитни зони в милонитите, а също така оформят 4-5 m дебело ниво в най-горните нива на Вѝчанската единица.

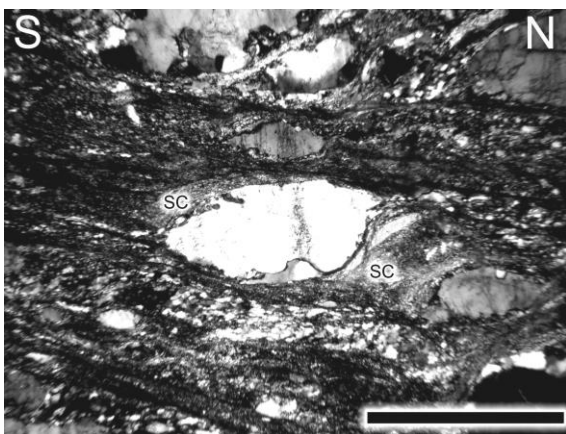


Фиг. 2. Микроструктури на милонити от СРЕС. В центъра на снимката – филонитен домен, изграден изцяло от слюдени минерали (ph). Горے ляво – сигма-тип фелдшптов порфирокласт (Fs), маркиращ насочени на север сръзвания. Кварцът е сегрегиран в полиминирални ивици, изградени от дребни зърна (q). Машаб 1 mm

Фолиацията и линейността в обхвата на пластичната зона на сръзване се отличават със стабилни ориентировки и не са засегнати от по-късни огъвания (фиг. 1С). Голям брой кинематични индикатори, наблюдавани както в разкритията и в образците, така и на микро ниво индикират насочени на север обемни сръзвания (фиг. 3).

Висящо крило на СРЕС

Над ултрамилонитното (филонитно) ниво от най-горните части на Въчанската единица се разполага един пъстър разрез изграден от разнообразни шисти, левкокртни, дребнозърнести гнайси, амфиболити и мрамори. По този начин ултрамилонитите маркират една ясно изразена литоложка граница в разреза на метаморфитите. До момента единствено Кереков (1961) акцентира на значението ѝ, считайки я за граница между ниско и висококристалинните метаморфити. На геоложката карта в М 1:100000 тя е означена като разломен контакт между Богутевска и Въчанска свити (Кожухаров и др., 1992). Най-пълно тази част от разреза на метаморфния фундамент е описана от Белев (1968).



Фиг. 3. Асиметрични "опашки" и деформационни шапки (strain camps – sc), които заедно с ивици на сръзване индикират насочени на север сръзвания. Машаб 1 mm

Скалите над тази граница показват редица белези за високи крайни деформации, и определянето на протолитите им и степента на метаморфизъм е затруднено. На редица места по Стара река и притоците ѝ, те са процепени от деформирани в различна степен

пегматитови и аплитови жили. Какви са аргументите тези скали да се причислят към висящото крило на СРЕС? На първо място, това е липсата на белези за мигматизация в тях. Изключително рядко се наблюдават очни и очно-ивичести структури, типични за милонитизирани левкосоми. Тяхното присъствие може да се обясни с деформирането на първични левкокртни нива или алохтонни аплит-пегматитови жили. На второ място, това е забележителното сходство в характера на скалните типове с тези от Севернородопската единица (Иванов и др., 1989a). Тези факти насочват към разглеждането на този пъстър разрез като част от Севернородопската единица.

Севернородопската единица изгражда части от северното подножие на Родопите и Рила, а така също и южните части на Ихтиманското Средногорие, разположени до Искърско-Яворишката зона на сръзване. Метаморфитите от тази единица се отличават по по-ниската степен на метаморфните изменения (Иванов и др., 1989a), а също така и по до-горнокредната възраст на метаморфизма: североизточно от Пещера, скалите на единицата са контактно променени (Кожухаров и др., 1992) от кампанския Капитандимитриевски плутон (Kamenov et al., 2003).

В долината на Стара река, базалните нива на Севернородопската единица са представени от ултрамилонитни, финозърнести мрамори и амфиболити. Това редуване се наблюдава по северния бряг на Стара река. От изключително значение е разкритието, разположено 150 m северно от входа на ВЕЦ "Пещера" (N 42.016; E 24.264), където в изкопа на пътя и в коритото на реката се наблюдава синметаморфно, тектонско смесване на амфиболити (метабазити) и мрамори, наподобяващо сходни структури в зоната на Среднородопския навлак (Янишевски, 1937). Тектонски "смесената" скала се разполага непосредствено над филонитите от най-горните нива на Въчанската единица. Присъстието на този специфичен вид тектонит е специално отбелязано от Кереков (1961), но този факт остава недооценен в последвалите разработки.

Като цяло, разрезът на Севернородопската единица в долината на Стара река показва белези за високи крайни деформации. Линейността е добре изразена и се маркира от развлечени кварцови агрегати, сенки на натиск и подредбата на слюдени минерали. Ориентировката ѝ е аналогична с тази от милонитната зона в горните нива на Въчанската единица (фиг. 1с). Ориентировката на фолиацията показва значителни вариации. В съседство с контактите с Въчанската единица, както и с мраморния разрез, коронясващ разреза на кристалина, фолиацията показва стабилна и конформна ориентировка. От друга страна метрови и декаметрови огъвания са причина на редица места да се наблюдават значителни вариации в ориентировката на фолиацията.

За разлика от милонитната зона в горните нива на Въчанската единица, тук кинематичният анализ не даде еднозначни резултати. По-голямата част от наблюдаваните асиметрични структури индикират насочен на ССЗ тектонски транспорт (фиг. 4).



Фиг. 4. Ротирано базично включение в ситнозърнести биотитови гнайси, маркиращо насочени на СЗ обемни сръзвания. Северно от устието на р. Дълбочица

В нашистени пегматити (прим. по пътя за пещерата Снежанка) се наблюдава S/C строеж, маркиращ югоизточни обемни сръзвания. Тези аномалии може да са резултат от антитетични сръзвания, водещи до изтъняване на екстензионната зона или да се дължат на локални отклонения в стабилния поток на веществото, породени от якостни разлики.

Специално внимание бе отделено на проследяването на долния контакт на мощния мраморен разрез, който се разполага в най-горните нива от разреза на Родопските метаморфити. Тези мрамори са разглеждани като корелат на Добростанската свита и традиционно в основата им се поставя полегатото разломно нарушение, тълкувано като повърхнинна на Севернородопския навлак (Бончев и др., 1951; Кожухаров и др., 1992). По северозападния склон на Стара река този контакт е покрит от склонови наслаги, но по югоизточния склон се установяват почти непрекъснати разкрития. Напълно разкрит профил през контакта се наблюдава югозападно от устието на р. Дълбочица (при N 42.0164; E 24.2787). Детайлният анализ на тези разкрития показва, че не съществуват данни за присъствието на крехко тектонско нарушение в основата на мраморния разрез. Не се установи присъствието на крехки разломни скали от типа на бречки и катаклазити. От друга страна, всички скали показват белези за интензивна пластична деформация, а също така се установява пълен паралелизъм в ориентировката на фолиацията и линейностите в пъстрия разрез и мраморите. За разлика от типичните разкрития на Добростанската свита, където мраморите са ситнозърнести и безструктурни, тук те показват перфектно развита фолиация и фина цепливост. На редица места в основата на мраморния разрез се наблюдават лежащи в плоскостите на фолиацията изоклинални гънки, които указват за процеси на преработка на фолиацията (transposition).

Дискусия

Разрезът по Стара река, както и районите на Кричим и с. Сестримо са най-пълно разкрити и дават най-добра представа за геометрията и характера на сложното устроената и вероятно дългоживуща тектонска зона – СРЕС. Общо за всичките разрези е присъствието на

милонити и ултрамилонити в най-горните нива на Въчанската единица, които запечатват насочени към С, ССЗ сръзвания. Докато характера на синметаморфните сръзвания показва забележителна устойчивост по цялото протежение на зоната, то архитектурата и кинематиката на крехките разломни нарушения, развити в съседство със СРЕС, е трудна за изучаване и корелация. Трудностите произтичат от липсата на непрекъснати разкрития и интензивната тектонска преработка в съседство със съвременния планински фронт (склон) на Родопите и Рила. Тъй като тези негативни фактори не са проявени, разрезът при Пещера дава изключителна възможност за разбиране взаимодействието между пластичните и крехките деформации в обхвата на СРЕС.

Установената липса на полегатото разломно нарушение на границата между Въчанската и Севернородопската единици, а също така и в основата на дебелия мраморен разрез, са факти с важни последствия за модела и еволюцията на СРЕС.

Възникват следните въпроси, които ще търсят решение и в по-нататъшни изследвания:

(1) Съществува ли полегатата разседна зона (Low-angle normal fault) по цялото протежение на СРЕС? Към този момент съществуването на този разлом е документирано на СЗ от р. Яденица (Иванов и др., 1989b; Gerdjikov et al., 2006). Съществуващите данни указват за сравнително малка дебелина на крехката тектонска зона, която се маркира от тънко ниво (макс. 2-3 m) споени катаклазити и гауч. За разкритията южно от Кричим също има указания за съществуването на полегатата крехка зона (Иванов и др., 1979; Герджиков, 2005). Тя се трасира по разлики между двата блока на зоната, по съществуването на полегати крехки сръзвания и значителната катаклазна преработка на висящия блок. Важно е да се отбележи, че при Кричим не са установени тектонити (прим. ултракатаклазити и гауч), които да маркират главната разломна зона. Тези данни указват, че в значителна степен установяването на полегатата разседна зона зависи от характера на разкритостта. В случаи на по-слаба разкритост, нейното съществуване се предполага по общи съображения, но не може да се докаже (прим. в района на с. Паталеница – фиг. 1). Проблемът в редица случаи се усложнява от трудностите да се различат олистостромните явления от полегати разломни нарушения.

(2) В каква степен е засегната от пластични екстензионни сръзвания горната плоча на екстензионната система – Севернородопската единица? Геометрията и кинематиката на обемните сръзвания, както и микроструктурните изследвания в разреза по Стара река насочват към идеята за интензивна терциерна динамо-метаморфна преработка на скали от базалните нива на Севернородопската единица. Тази преработка е съвместима с екстензионния характер на трансформациите по зоната, които водят до изнасяне на "горещи" нива от дълбочина и съпоставянето им с по-рано ексхумираните метаморфити от Севернородопската единица. Целенасочени петроложки и изотопни изследвания са необходими за цялостно решение на този проблем.

Заклучение

В разреза при Пещера СРЕС показва специфични черти. Пластичните милонити от СРЕС са развити както по мигматитите от лежащото крило, така и по скалите на Севернородопската единица. Изключително високи крайни деформации са запечатани в най-горните нива на лежащото крило, маркирани от ултрамилонити и 4-5 m ниво на тектонско смесване на мрамори и метабазити. След интензивните пластични деформации, вероятно още в синметаморфни условия, горните нива на милонитната зона са огнати от декаметрови и метрови гънки, с оси приблизително напречни на посоката на тектонския транспорт. Най-важната особеност в изследвания разрез е липсата на крехко тектонско нарушение в основата на мраморите от Севернородопската единица.

Литература

- Белев, С. 1968. Върху петрографския състав на метаморфните скали около гр. Пещера и с. Дебращица. – *Год. МГУ*, 14, 2, 75-85.
- Бончев, Е., М. Йорданов, Е. Белмустаков. 1951. Бележки върху навлачната тектоника на северните родопски склонове. – *Изв. Геол. инст.*, 1, 83-94.
- Бончев, Е. 1961. Бележки върху главните разломни структури в България. – *Тр. геол. Бъlg.*, сер. стратигр. и тект., 2, 5-29.
- Вълкова, Н., Х. Спиридонов. 1979. Маришкият дълбочинен разлом през неозоя в участъка между с. Варвара, Пазарджишко и гр. Костенец. – *Сп. Бъlg. геол. д-во*, 40, 2, 167-173.
- Герджиков, Я. 2005. Полегати разломни зони в Централните Родопи. – *Геол. минер. рес.*, 5, 25-29.
- Герджиков, Я., П. Готие. 2006. Процеси на корова екстензия по северния ръб на Родопите и Рила. – *Геол. минер. рес.*, 6, 23-26.
- Иванов, Ж. 1989. Строение и тектоническая еволюция центральных частей Родопского массива. – В: *Строение и геодинамическая еволюция внутренних зон Балканид – Краищиды и Родопская область – Путевод. экскурсии Е-3, XIV конгрес КБГА, С.*, 53-118.
- Иванов, Ж. 1998. *Тектоника на България*. Хабилит. труд, СУ "Св. Кл. Охридски", 675 с.
- Иванов, Ж., С. Московски, К. Колчева. 1979. Основные черты строения центральных частей Родопского массива. – *Geologica Balc.*, 9, 1, 3-50.
- Иванов, Ж., С. Саров, Е. Мишев, А. Внуковска. 1989а. Севернородопският навлак между долините на реките Чепинска и Искър. – *Год. СУ, ГГФ*, 78, 1-геология, 64-73.
- Иванов, Ж., Д. Димов, С. Саров, Е. Мишев. 1989б. Строение и тектоническая еволюция центральных частей Родопского массива. Описание маршрута. – В: *Строение и геодинамическая еволюция внутренних зон Балканид – Краищиды и Родопская область – Путевод. экскурсии Е-3, XIV конгрес КБГА, С.*, 91-102.
- Керекров, С. 1961. Принос към геологията на Западните Родопи. – *Тр. геол. Бъlgария, Сер. статигр. и тект.*, 2, 159-181.
- Кожухаров, Д. 1965. Структура на кристалина в Централните Родопи. – *Изв. Геол. инст.*, 2, 131-167.

- Кожухаров, Д., Р. Димитрова, Н. Кацков. 1992. *Геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Пазарджик*. КГМР, София.
- Московски, С., Ж. Иванов. 1986. Геологическое строение Централных Родоп. III. Севернородопский надвиг между городами Пештера и Асеновград. – *Geologica Balc.*, 16, 1, 31-53.
- Саров, С., З. Чернева, К. Колчева, Е. Войнова, Я. Герджиков. 2004. Литотектонска подялба на метаморфните скали от източните части на Централнородопската екстензионна структура. – *Сп. Бъlg. геол. д-во*, 65, 1-3, 101-106.
- Янишевски, А. 1937. Принос към геологията на Чепеларската и Лъкавишката рудоносни области в Средните Родопи. – *Сп. Бъlg. геол. д-во*, 9, 2, 67-92.
- Яранов, Д. 1940. Геология на северния склон на Родопите между град Пещера и село Куклен (Пловдивско). – *Сп. Бъlg. геол. д-во*, 12, 2, 83-118.
- Яранов, Д. 1960. *Тектоника на България*. С., Техника, 281 с.
- Arnaudov V, B. Amov, T. Baldjewa, M. Pavlova. 1990. Tertiary magmatic pegmatites in the Rhodope crystalline complex. Uranium-lead zircon dating. – *Geologica Balc.*, 20, 6, 25-32.
- Burg, J-P., Z. Ivanov, L-E. Ricou, D. Dimov, L. Klain. 1990. Implication of shear sense criteria for the tectonic evolution of the Central Rhodope Massif, Southern Bulgaria. – *Geology*, 18, 451-454.
- Burg, J-P., L-E. Ricou, Z. Ivanov, I. Godfriaux, D. Dimov, L. Klain. 1996. Syn-metamorphic nappe complex in the Rhodope Massif. Structure and kinematics. – *Terra Nova*, 8, 6, 6-15.
- Cherneva, Z., M. Georgieva. 2005. Metamorphosed Hercynian granitoids in the Alpine structures of the Central Rhodope, Bulgaria: geotectonic position and geochemistry. – *Lithos*, 82, 149-168.
- Cherneva, Z., M. Ovtcharova, D. Dimov, A. von Quadt. 2006. "Baby granites" in migmatites from Chepinska river valley, Western Rhodope – geochemistry and U-Pb isotope dating on monazite and zircon. – *Geosciences 2006, Sofia, Abstract Volume*, 205-208.
- Dimov, D., N. Georgiev. 2000. Exhumation related milonitization of granitoides – an example from the Rila-Phodope Batholith. – *Ann. Univ. Sofia*, 1, Geol., 92, 23-27.
- Gerdjikov, I., P. Gautier, Z. Chernewa, G. Ruffet. 2006. The northwestern segment of the North Rhodopean extensional system and related fabrics in the Rila-Rhodopean batholith. – *Geosciences 2006, Sofia, Abstract Volume*, 79-82.
- Ivanov, Z. 1988. Apercu general sur l'evolution geologique et structurale du massif des Rhodopes dans lae cadre des Balkanides. – *Bull. Soc. geol. France*, 8, IV, 2, 227-240.
- Kamenov, B., von Quadt, A., Peycheva, I.. 2003. Capitan-Dimitriev pluton in Central Srednogorie, Bulgaria: Mineral chemistry, geochemistry and isotope evidence for magma-mixing origin. – *Geochem., Mineral., Petrol.*, 40, 21-53.
- Peytcheva, I., A. von Quadt, M. Ovtcharova, R. Handler, F. Neubauer, E. Salnikova, Y. Kostitsyn, S. Sarov, K. Kolcheva. 2004. Metagranitoids from the eastern part of the Central Rhodopean Dome (Bulgaria): U-Pb, Rb-Sr and ⁴⁰Ar/³⁹Ar timing of emplacement and exhumation and isotope-geochemical features. – *Mineral. Petrol.*, 82, 1-31.

АНАЛИЗ НА ОТНОСИТЕЛНИТЕ ИЗМЕНЕНИЯ НА МОРСКОТО НИВО В ДОЛНОКАМЧИЙСКИЯ СЕДИМЕНТЕН БАСЕЙН (МОРСКАТА ЧАСТ) ПРЕЗ СРЕДНО-КЪСНОЕОЦЕНСКАТА И ОЛИГОЦЕНСКАТА ЕПОХА

Христо Димитров

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

РЕЗЮМЕ. Главната цел на настоящата работа е да разгледа относителните изменения на морското ниво в Долнокамчийския седиментен басейн (морската част) през средно-късноеоценската и олигоценската епоха. Методите на изследване използвани тук са базирани на концепцията за седиментните секвенции (Sloss, 1963; Vail et al., 1977; Van Wagoner and Posamentier, 1988) и за сеизмостратиграфския анализ (Vail et al. 1977; Bally et al., 1987; Vail et al., 1991; Miall, 1996). Ръстът, с който морското ниво нараства през всички епизоди на базално залягане (onlap) може да бъде калкулиран чрез дебелината на седиментите, показани с различията между най-ниските и най-високите отражения на базално залягане. Хроностратиграфската диаграма може да бъде използвана за построяването на диаграма на морското ниво, на която са отразени повишенията и пониженията му през времето. Секвентностратиграфският анализ идентифицира цикли от втори и трети порядък заключени в рамките на секвентни граници в основата на среден-горен еоцен и в горнището на олигоцен. Корелацията между конструираните криви за крайбрежните базални залягания (coastal onlap) с пресметнатите палеодълбочини и глобалните криви (Haq et al., 1987) показва някои несъответствия, тъй като относителните изменения на морското ниво в Камчийския седиментен басейн са били значително повлияни и от локалните тектонски събития, отделно от евстатичните глобални колебания и затова не винаги се идентифицират с определените глобални цикли.

ANALYSIS OF RELATIVE CHANGES OF THE SEA LEVEL IN THE KAMCHIA SEDIMENTARY BASIN (OFFSHORE PART) DURING THE MIDDLE-LATE EOCENE AND OLIGOCENE EPOCH

Hristo Dimitrov

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

ABSTRACT. The main objective of the present work is to examine relative changes of sea level in the Kamchia sedimentary basin (offshore part) during the middle-late Eocene and Oligocene epoch. The methods of investigation used here are based on the conception of the sedimentary sequence (Sloss, 1963; Vail et al., 1977; Van Wagoner and Posamentier, 1988) and of the seismostratigraphic analysis (Vail et al., 1977; Bally et al., 1987; Vail et al., 1991; Miall, 1996). The height by which the sea level rose during each episode of onlap could be measured by calculating the thickness of sediment represented by the difference between the lowest and highest onlapping reflectors. The chronostratigraphic chart could then be used to produce a relative sea level chart plotting the rise and fall of sea level through time. Sequence stratigraphic analysis has identified 2nd and 3rd order eustatic cyclicity, with sequence boundaries at the base of the Middle-Upper Eocene, at the top of the Oligocene. The correlation of the constructed curves for the coastal onlap and estimated paleodepth with the global reference curves (Haq et al. 1987) shows some discrepancies, because the relative sea level changes in the Kamchia basins have been considerably shaped apart from eustasy, also by local tectonic events and thus they are neither always identical with the defined global cycles.

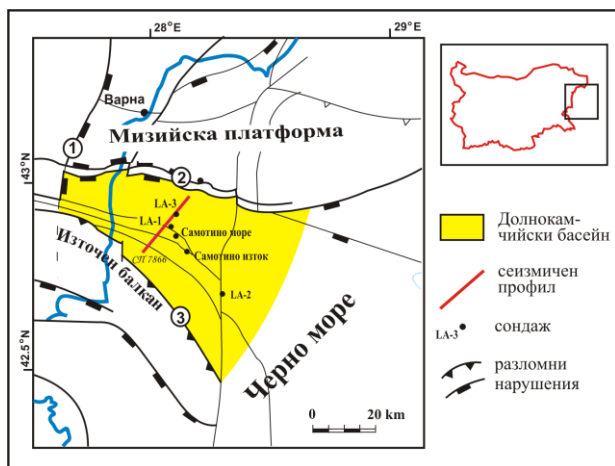
Въведение

Анализът на относителните изменения на морското ниво е съществена част от сеизмостратиграфските изследвания и дава отлични възможности за реализиране на басейновото моделиране (Allen and Allen, 1990). Под относително изменение на морското ниво се разбира привидното понижаване или повишаване на морското ниво спрямо повърхността на сушата. То може да се наблюдава вследствие на повишаване или понижаване на морето, на сушата, или като резултат от действието на двете явления едновременно (Vail et al. 1977; Николов, 1995а; 1995б). Индикатори за относителното изменение на морското ниво се явяват границите на разпространение на базално залягащите (onlap) в долнището и препокриващите (toplap) в горнището пластове в крайбрежните фациеси на морските седиментни комплекси. Главната цел на настоящата работа е да се разгледат относителните

изменения на морското ниво в Долнокамчийския седиментен басейн (морската част) през средно-късноеоценската и олигоценската епоха, с построяването на диаграма на тези изменения и сравняване на получените резултати с данните от разработения от Haq et al. (1987) модел на глобалното морско ниво. Съпоставянето на кривите от диаграмите на регионалните и глобалните изменения на морското ниво помагат да се прогнозира възрастта на секвенциите, за които няма данни. При съпоставянето се маркират и различия между кривите на регионалните и глобалните изменения, които могат да отговарят на периоди на локални тектонски движения.

Геоложка рамка

Районът на изследване е очертан в морската част на Долнокамчийския седиментен басейн (фиг. 1).



Фиг. 1. Тектонска схема на част от СИ България (по Georgiev, 2004 с модификации). На схемата са локализирани използваните за целите на изследването сеизмичен профил и сондажи. С цифрите в кръгчетата са показани границите на Долнокамчийския басейн: 1 – Венелин-Толбухински разлом; 2 – Близнашки разлом; 3 – Старопланински навлак

Седиментният комплекс, запълващ басейна включва седиментни последователности със средно-горноеоценска, олигоценска и неогенска възраст. Геоложките характеристики на Долнокамчийския басейн са достатъчно убедителни за дефинирането на басейна като форландов – асиметричната му геометрия, местоположението му пред орогенен фронт и участието на механизмите на компресна тектоника във формирането му, доминиращо теригенен пълнеж със значителна дебелина и северно преместване на седиментния депоцентър във времето (Георгиев и др., 2004; Димитров, Георгиев, 2005). Формирането на басейна се контролира от интензивната изява главно на Илирската орогенеза през ранно-средноеоценската епоха, и в по-малка степен от Савската нагъвателна фаза през късния олигоцен, които оформят съвременната морфология на Балканидите.

Данни и методика за изследването

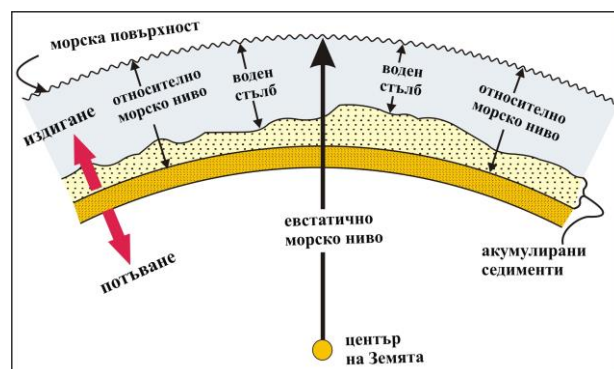
Сеизмостратиграфският анализ и построяването на диаграма на относителните изменения на морското ниво на морската част на Долнокамчийския басейн се базира на използваните данни от сондажните каротажи на 5 прокарани в акваторията сондажи (P-1 Самотино-море, P-1 Самотино-изток, LA-1, LA-2, LA-3), два от които (LA-3 и LA-1) са корелирани и овързани със сеизмичния разрез на профилна линия 7866 (фиг. 1). Тя минава напречно (по направление ЮЮЗ-ССИ) на басейна. За датирането на седиментните комплекси е използвано възрастово привързване по сондажните данни.

Методиката за изследването изцяло прилага концепцията за седиментните секвенции (Sloss, 1963; Vail et al., 1977; Van Wagoner and Posamentier, 1988), за сеизмостратиграфския анализ (Vail et al., 1977; Bally et al., 1987) и техниките за построяването на хроностратиграфска диаграма (Wheeler, 1958) и моделът

на глобалното морско ниво (Payton, 1977; Vail et al., 1991; Miall, 1996).

Анализ на относителните изменения на морското ниво

Относителното морско ниво отразява позицията на морската повърхност свързана с действието на два компонента: евстазията и вертикалните движения на морското дъно, причинени от тектониката и седиментното натрупване и уплотняване (фиг. 2)



Фиг. 2. Схема, изобразяваща връзките между евстатичните колебания, тектониката и натрупването на седименти, които контролират относителните изменения на морското ниво (Etegy, Myers, 1996, с модификации)

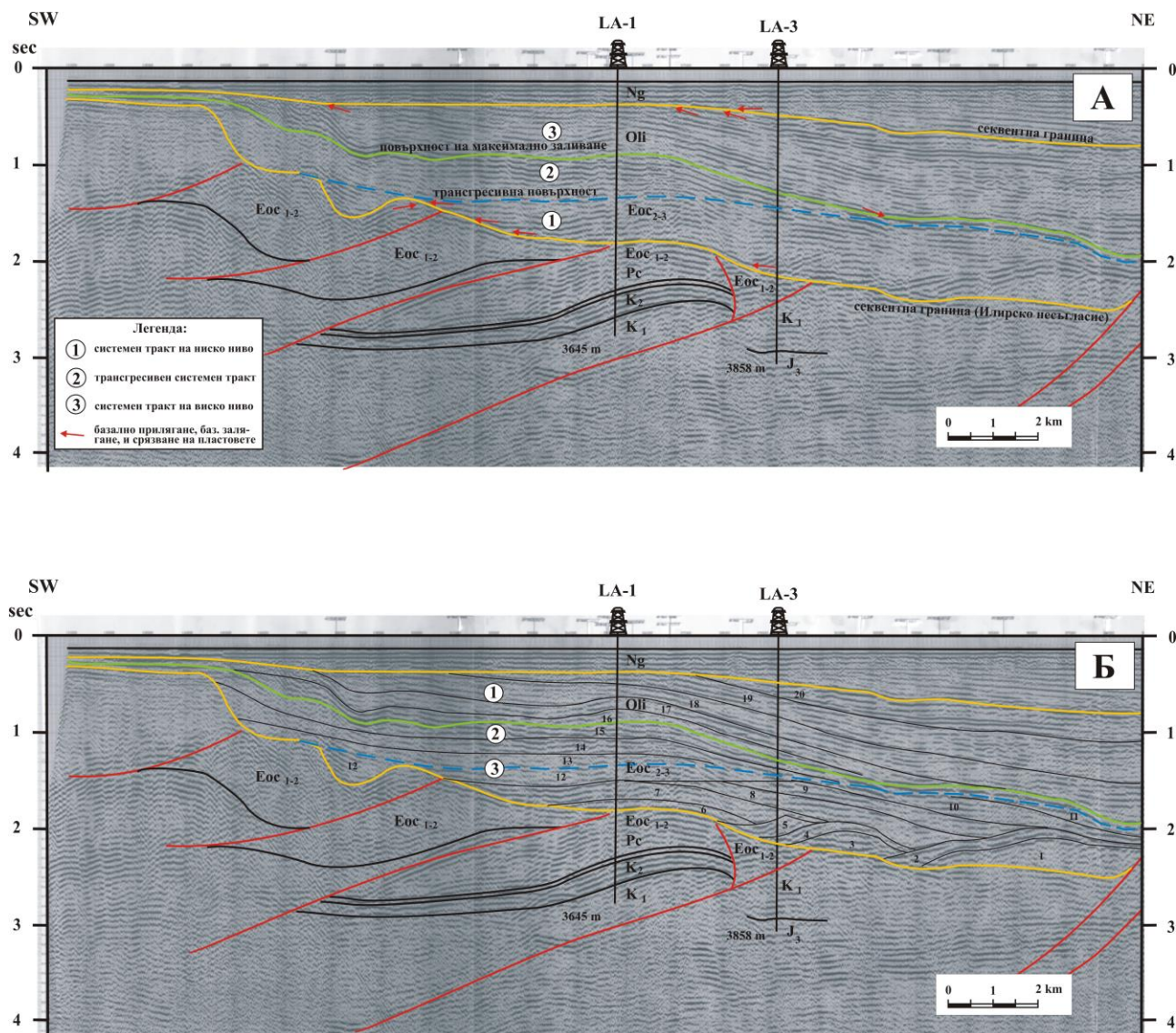
Относителното изменение на морското ниво може да се установи по особеностите на базалното залягане (onlap) на крайбрежните седименти в морските седиментни комплекси. По амплитудата на тези изменения във времето и пространството може да се построи графика на циклите на относителните повишения и понижения на морското ниво. Такава графика позволява да се получи представа за историята на флукуациите на базисното ниво, което контролира площното развитие на седиментните комплекси и характера на изграждащите ги пластовете.

Изложеният в настоящото изследване регионален анализ на относителните изменения на морското ниво на Долнокамчийския басейн, включва следните три основни етапа:

- анализ на сеизмичната секвенция;
- построяване на хроностратиграфска корелационна схема;
- построяване на диаграма на относителното морско ниво.

Анализ на сеизмичната секвенция

През първия етап е необходимо да се анализират крайбрежните комплекси. Определят се техните граници, възраст, области на разпространение и наличие на формите на базално залягане (onlap) и препокриване (toplap). На сеизмичния профил са проследени и трасирани именно тези отразяващи хоризонти, отговарящи на базално залягащи и препокриващи пластовете (фиг. 3).



Фиг. 3. Сеизмостратиграфска интерпретация на СП-7866, показваща: А – отделената средно-горноеоценско-олигоценска секвенция; Б – трасираните в рамките на секвенцията отразяващи хоризонти, отговарящи на базално залягащи и препокриващи пластове

Средно-горноеоценско-олигоценската секвенция е отделена и подробно разгледана (Георгиев и др., 2004; Димитров, Георгиев, 2005).

От получените данни за интерпретирания сеизмичен профил, беше построен стратиграфски разрез, който даде реална представа за пространствените взаимоотношения на литоложките тела в обхвата на седиментната секвенция (фиг. 4). За целите на изследването бяха разграничени дълбоководните от плиткоморските и крайбрежните седименти.

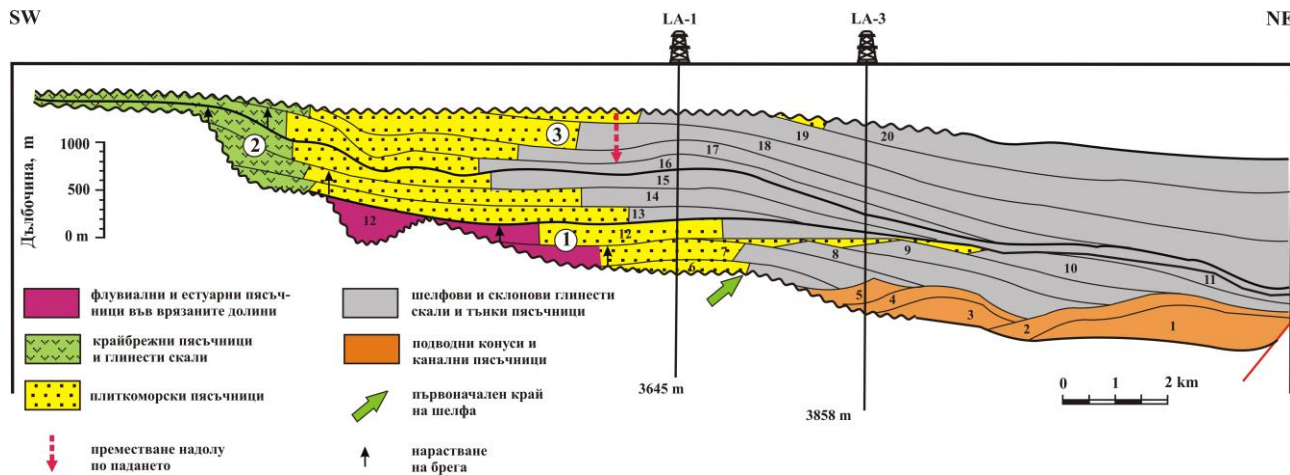
Построяване на хроностратиграфска корелационна схема

През втория етап се преминава към построяване на хроностратиграфска корелационна схема на седиментните комплекси. На нея в зависимост от абсолютната възраст се пренася информацията от геоложкия профил. Хроностратиграфските диаграми (Wheeler, 1958) са изключително полезни за изобразяването на времевата стратиграфия. Те описват скалите от разреза по време и пространство, контрастирайки на литостратиграфските разрези, които изобразяват само пространствените

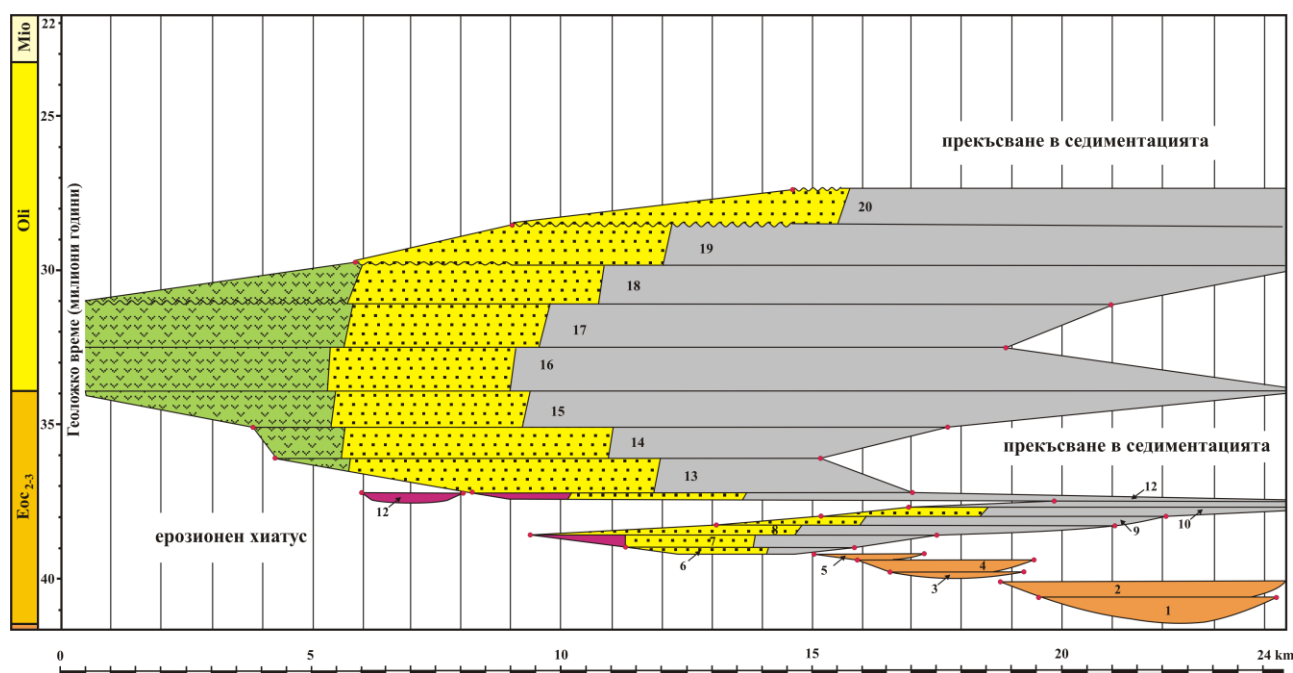
отношения на телата. Затова т.н. "диаграми на Уилър" ("Wheeler diagrams") улесняват изясняването на значението, продължителността и латералния обхват на несъгласията и прекъсванията. Върху схемата е изобразена стратиграфската информация, като по вертикалата е нанесено геоложкото време, а по хоризонталата, разстоянието между обектите в изучавания район. Чрез информацията от интерпретирания профил и геофизичните сондажни данни за Долнокамчийския седиментен басейн беше построена хроностратиграфска диаграма, на която нагледно са оценени времевият диапазон и площта на развитие на секвенцията (фиг. 5).

Построяване на диаграма на относителното морско ниво

Първият модел на глобалното морско ниво е публикуван от Vail et al. (1977), а по-късно е модифициран от Haq et al. (1987). Построена е "глобална" крива, която е получена в резултат от анализа на сеизмичните профили и разпознаването на ограничените с повърхнини на несъгласие секвенции. За трасирането и са използвани техники описани в работите на Payton (1977), Vail et al. (1991) и Miall (1996).



Фиг. 4. Стратиграфски разрез по сеизмичната линия, сечаща напречно Долнокамчийския басейн

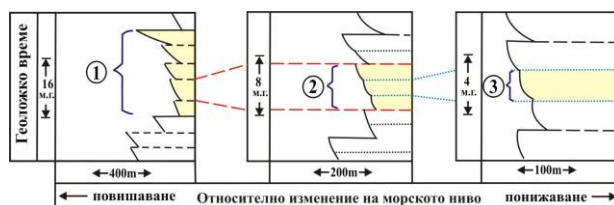


Фиг. 5. Хроностратиграфска корелационна схема на изучаваната зона (вж. легендата от фиг. 4)

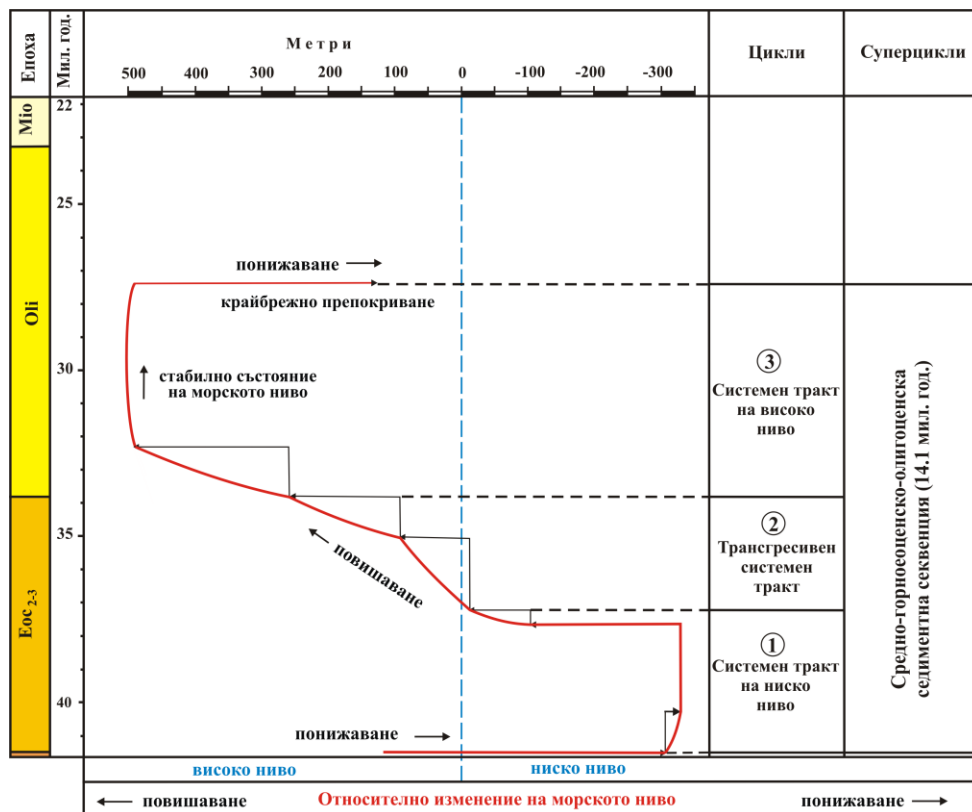
По същество кривата на глобалния модел на относителните изменения на морското ниво съдържа предсказване на поведението на евстатичните колебания през геоложкото време, получена от крайбрежното базално залягане (onlap) на пластове, показано с осреднена диаграма. Моделът на глобалното морско ниво, алтернативно е наречен "глобална циклична диаграма" (Payton, 1977; Miall, 1996). Той показва систематични схеми на вариации на морското ниво с различни вълнови дължини. Така Vail et al. (1977) отделят цикли от първи, втори и трети порядък с времетраене от няколко милиона (циклите от трети порядък) до 10-ки милиона години (циклите от първи и втори порядък).

Под цикъл на относително изменение на морското ниво се разбира интервал от време, в течение, на който се отбелязват относителните повишения и понижения (Vail et al., 1977) (фиг. 6).

Всеки цикъл на относително изменение на морското ниво, обикновено се състои от етап на постепенно повишаване, период на стабилизация и етап на бързо понижаване. Това е и причината за ясно изразения им асиметричен характер, който се наблюдава при всички известни до момента случаи.



Фиг. 6. Графика на относителното изменение на морското ниво. Циклите се състоят от относителни повишавания и понижавания. С цифрите в кръгчетата: 1 – суперцикл; 2 – цикл; 3 – парацикл (Vail et al., 1977, с модификации)



Фиг. 7. Регионална диаграма на циклите на относителните изменения на морското ниво в Долнокамчийския басейн

За построяването на графиката е необходимо стратиграфският разрез да обхваща зоната на външния шелф и да съдържа най-пълнен разрез на базалното залягане. Затова и съвсем целенасочено беше извършен подбор на подходящ за изследването сеизмичен профил.

Относителното изменение на морското ниво се отчита по трансгресивното залягане на сушата на литорални и неморски крайбрежни седименти. Амплитудата на относителното повишаване може да се определи по вертикалната компонента на нарастване на бреговите отложения (agradation). В хода на относителното повишаване на морското ниво се отбелязва както трансгресията, така и регресията на бреговата линия, удълбочаването или пък изплитняването на басейна. За относителната стабилизация свидетелства крайбрежното препокриване (toplap).

За изчисляване на амплитудата на относителното понижаване на морското ниво се определя първоначалната разлика в абсолютните бележки между най-високите положения на пластовете, базално залягащи в постилация комплекс и най-ниските положения в препокриващия комплекс. След крупното относително понижаване на морското ниво се наблюдава забавяне на развитието на шелфа, а областта на базално залягане видимо е ограничена от осевата зона на басейновия конус, развит в крайнината на басейна.

На диаграмата на относителните изменения на морското ниво в Долнокамчийския басейн през средно-късноеоценовската и олигоценовската епоха е очертан един суперцикъл (втори порядък) с продължителност на формиране от 14.1 млн. г. (фиг. 7). Той кореспондира

напълно с развитието на една класическа седиментна секвенция. Този суперцикъл е поделен на 3 цикъла (трети порядък), отговарящи на изграждащите седиментната секвенция системни трактове.

В началото на първия цикъл (системен тракт на ниско ниво) морското ниво в басейна рязко се е понижавало и е било под шелфовия ръб, а в края на цикъла то спира да се понижават и започва бавно да се повишава. Цикълът е с продължителност от 4.2 млн. г. (къснолютецка-бартоновска възраст).

Вторият цикъл (трансгресивен системен тракт) отразява бързо повишаване на морското ниво. Повишаването може ясно да се види от поведението на кривата на диаграмата Шелфът се залива и шелфовото акомодационно пространство значително нараства (трансгресия). Цикълът се формира през късния еоцен (приабонски век) в рамките на 3.3 млн. г.

Третият цикъл (системен тракт на високо ниво) се характеризира с продължаване на тенденцията на повишаване на относителното морско ниво, като то достига най-високите си стойности, след което следва етап на стабилно състояние, а накрая кривата показва режим на бавно понижаване (регресия). Цикълът се образува през олигоцена (рупел-раннохатски век) в продължение на 6.6 млн. г.

Съпоставяне на кривата на изменение на морското ниво в Долнокамчийския басейн с „глобалната“ крива

При съпоставянето на кривата получена от настоящето изследване с кривата на глобално изменение на морското ниво, се отчитат и някои разлики (фиг. 8). Най-отчетлива е

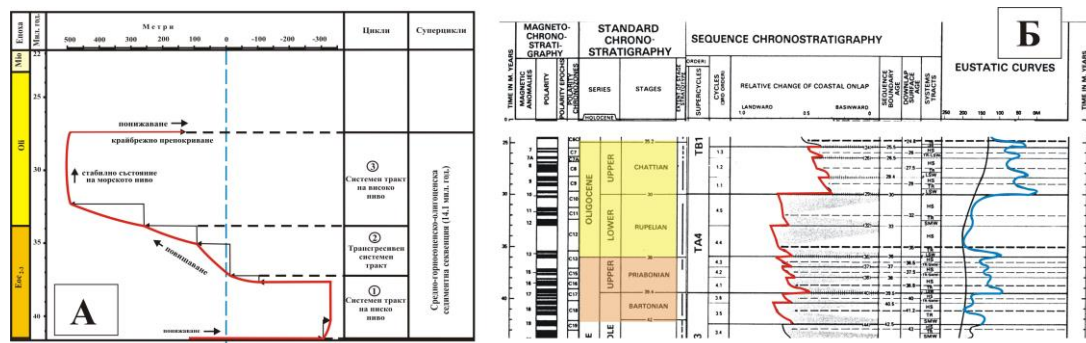
тази в началото на суперцикълъ, която е естествен отговор на изявата на локални тектонски движения, свързани с Илирската орогенеза, моделирала активно съвременния облик на Източните Балканиди.

Заклучение

Установените особености на базалните залягания и препокривания в обхвата на средно-късноеоценско-олигоценската седиментна секвенция, позволиха отделянето на един едноименен суперцикъл формиран в продължение на 14.1 млн. г. Суперцикълът е поделен на

цикли, всеки един, от които се характеризира със специфично изменение на относителното морско ниво. Кривата на относителните изменения на морското ниво може да се раздели на редица времеви интервали свързани с относителното повишаване, стабилност и понижаване на нивото.

Относителните изменения на морското ниво контролират секвентната архитектура и разпространението на литофациесите в Долнокамчийския басейн. Затова и анализът им може да бъде използван за конструирането на басейнов модел.



Фиг. 8. Съпоставяне на кривата на относителните изменения на морското ниво в Долнокамчийския басейн през средно-късноеоценската и олигоценската епоха (А) с кривата от модела на глобалното морско ниво на Haq, et al., 1987 (Б)

Литература

- Георгиев, Г., Х. Димитров, Ф. Рейд, Дж. Прингъл, Н. Ботушаров. 2004. Сеизмостратиграфия и 3-Д модел на Долно-Камчийския седиментен басейн (морска част). – *Проблеми на нефта и газа, Международна научно-техническа конференция*, Варна, 373 с.
- Димитров, Х., Г. Георгиев. 2005. Литофациален анализ на седиментните секвенции в Долнокамчийския седиментен басейн (акваториална част). – *Год. МГУ*, 47, св. I, *Геология и геофизика*, 47-52.
- Николов, Т. 1995а. Съвременен състояние и перспективи на стратиграфията. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 56, 1, 1-30.
- Николов, Т. 1995б. Евстатични колебания на морското ниво в историята на Земята. – *Год. СУ, Геол.* - 1, 88, 5-20.
- Allen, P. A., J. R. Allen. 1990. *Basin Analysis: Principles and Application*. Blackwell Scientific Publ., Oxford, 463 p.
- Bally, A. W. (Ed.) 1987. *Atlas of seismic stratigraphy*. – *AAPG Studies in Geology*, 27.
- Christie-Blick, N., G. S. Mountain, K.G. Miller. 1990. Seismic stratigraphic record of sea level change. – In: *Sea-Level Change*. – *Natl. Acad. Sci. Stud. Geophys.*, 116-140.
- Emery, D., and K.J. Myers. 1996. *Sequence Stratigraphy*. Blackwell Science, Oxford, 297 p.
- Haq, B. U., J. Hardenbol, P. R. Vail. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to Present). – *Science*, 235, 1156-1167.
- Miall, A. D. 1991. Stratigraphic sequences and their chronostratigraphic correlation. – *J. Sediment. Petrol.*, 61, 497-505.
- Miall, A. D. 1992. Exxon global cycle chart: an event for every occasion. – *Geology*, 20, 787-790.
- Miall, A. D. 1996. *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Springer, Berlin, 433 pp.
- Octavian, C., A. Willis, A. Mial. 1998. Temporal significance of sequence boundaries – *Sedim. Geology*, 121, 157-178.
- Payton, C.E. (Ed.), 1977. *Seismic Stratigraphy. In Applications to Hydrocarbon Exploration*. – *Mem. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 26, 1-516.
- Sloss, L. L. 1963. Sequence in the cratonic interior of North America. – *Geological Society of America Bulletin*, 74, 93-114.
- Vail, P. R., R. M. Mitchum, S. III Thompson. 1977. Relative Changes of Sea Level from Coastal Onlap. – In: *Seismic stratigraphy – application to hydrocarbon exploration* (Ed. C.E. Payton). AAPG Memoir, 26, 63-81.
- Vail, P. R., Audemard, F., Bowman, S.A., Eisner, P.N., Perez-Cruz, C. 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology an overview. – In: Einsele, G., Ricken, W., and Seilacher, A. (Eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin.
- Van Wagoner J. C., H. W. Posamentier. 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. – *SEPM*, 42, *Sea-level Changes: an Integrated Approach*, Tulsa, Oklahoma, USA, 39-46.
- Wheeler, H. F. 1958. Time-stratigraphy. – *Bull. of the AAPG*, 42, 5, 1047-1063.

ПРИЛАГАНЕ НА МЕЖДУНАРОДНАТА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ВЪГЛИЩА В ПЛАСТА И МЕЖДУНАРОДНАТА КОДИФИКАЦИОННА СИСТЕМА ЗА ВЪГЛИЩА ОТ СТРУМСКО-МЕСТЕНСКАТА ПРОВИНЦИЯ

Йордан Кортенски¹, Александър Здравков¹, Димка Пиналова²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700

²Минпроект ЕАД, София

РЕЗЮМЕ. Въглищни пластове от Струмско-местенската провинция (Ораново-симитлийски и Гоцеделчевски басейни) са опробвани с по 10 до 12 пластови проби. Въглищните аншлиф-брикети са изследвани в отразена бяла и флуорисцентна светлина в маслена имерсия и е измерен показател на отражение на хуминита. Чрез технически анализ са определени и останалите класификационни параметри: обща и аналитична влага, пепелно съдържание, обща сяра и топлината на изгаряне на влажно и на сухо безпепелно гориво. Според определените показатели, съгласно Международната класификация на въглища в пласта въглищата от Ораново-симитлийския и Гоцеделчевския басейни са ивичести предимно хумусни от нисък ранг В – лигнити с ниско качество. За всеки от изследваните въглищни пластове е определен код, съгласно Международната кодификационна система.

Ключови думи: въглища от нисък ранг, лигнити В, Международна класификация на въглища в пласта, Международна кодификационна система, Струмско-местенска провинция

APPLYING THE INTERNATIONAL CLASSIFICATION OF IN-SEAM COALS AND THE INTERNATIONAL CODIFICATION SYSTEM TO SOME COALS FROM STROUMA-MESTA COAL PROVINCE

J. Kortenski¹, A. Zdravkov¹, Dimka Pinalova²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700

²Minproekt Ltd., Sofia

ABSTRACT. The present study is based on coal samples from the Strouma-Mesta coal province (Oranovo-Simitli and Goce Delchev basins). Up to 12 whole-coal samples were taken from the mined coal-beds in these basins. Standart microscopical and technological procedures were applied and the micropetrographic properties, huminite reflectance, moisture, ash yield, total sulphur contents and the combustion temperature of the samples, were determined. According to the International Classification of in-Seam Coals, the coal-bed in Oranovo-Simitli and Goce Delchev basins are mainly humic, banded, low grade coal with low-rank - Lignite B. For each of the studied herein coal-beds a specific code was assigned, according to the International Codification System.

Keywords: low-rank coal, Lignite B, International Classification of In-Seam Coal, International Codification system, Strouma-Mesta coal province

Въведение

Международната класификация на въглищата в пласта е разработена от Работна група по въглища към Европейската икономическа комисия. Целта на класификацията е да унифицира характеристиката на въглищата, като се използват три основополагащи параметъра. Те дават възможност за еднозначно определяне на въглищата като геоложко образувание:

- Ранг (степен на въглефикация);
- Петрографски състав (органичен фациес);
- Качество (количество на примесите, неорганичен фациес).

Според Международната класификация на въглищата в пласта за въглища с нисък ранг се считат такива, чиято висша топлина на изгаряне, определена на суха безпепелна маса е по-ниска от 24 MJ/kg, при среден показател на отражателната способност на витринита в маслена имерсия под 0,6%. Ако топлината на изгаряне е по-ниска от 24 MJ/kg, но средната отражателна способност

в маслена имерсия е по-висока от 0,6%, въглищата трябва да се отнесат към класовете от по-висок ранг. Според Международната класификация на въглищата в пласта въглищата с нисък ранг се разделят на категории С, В и А или на ортолигнити, металигнити и суббитуминозни въглища.

За нуждите на вътрешната и международна търговия е създадена Международна система за кодификация на въглищата, която е приета от Европейската икономическа комисия под егидата на ООН. Системата за кодификация дава възможност за избягване на недоразуменията между производители, търговци и консуматори за качествената характеристика на въглищата, която отговарят на изискванията на конкретните области на тяхното използване като определя общи критерии за определяне на качеството. Тези критерии са включени в осем цифров код, който характеризира въглищата като промишлена суровина.

Основни параметри за кодификация са:

- Висша топлина на изгаряне, определена на суха безпепелна маса – Q_{daf} , MJ/kg. Това определя първите две цифри от кода, които обозначават долната граница на диапазон от 0,98 MJ/kg;
- Обща влага, определена по влагоемкостта – W_{ar} , %. Вторите две цифри от кода съответстват на долна граница на интервал от 0,9% влага;
- Пепелно съдържание на суха маса (db) – A^{db} , %. Третите две цифри се определят от долната граница на интервал от 0,9% пепел на суха маса;
- Съдържание на обща сяра на суха маса (db) – S^{db} , %. Това определя четвъртите две цифри, които отговарят на долната граница на интервал от 0,09% съдържание на сяра, умножена по 10.

Кратка геоложка характеристика на басейните от Струмско-местенска провинция

Ораново-Симитлийски басейн. В района на басейна са установени скали с различна възраст. Докамбрийски са скалите от: *Докавичевската свита* (амфиболити и биотит-амфиболитови гнайси); *Старичеката свита* (биотитови и двуслюдени гнайси с прослойки от амфиболити); *Четирската свита* (амфиболити, с прослойки от биотитови и двуслюдени гнайси); *Гнайсово-мигматитовия комплекс* (биотитови и двуслюдени гнайси и мигматити); *Челеларската свита* (двуслюдени и биотитови гнайси с алтернация от шисти, гнайсошисти, амфиболити и мрамори); *Въчанската свита* (биотитови гнайси прослоени от двуслюдени гнайси и лептинити, амфиболити, мрамори и шисти); *Фролошката свита* (хлорит-актинолитови шисти, зелени скали и метадиабази, филити и кератофири) (Маринова, Загорчев, 1993). Палеозоят е представен от: *Крупнишкия плутон*, изграден от биотитови, равномерно-зърнести порфиroidни гранити и *Гранодиоритите от Рило-Родопския батолит*. В района се разкриват и скалите от турон-долноселонския *Севернопирински плутон* (равномернозърнести гранити с преход към левкогранодиорити, кварцмонцити и адаметити) (Маринова, Загорчев, 1993). Палеогенските наслаги в района са поделени на: *Логодашка свита* (пясъчници и глинести пясъчници с олигомиктови брекчи и брекчоконгломерати); *Вулкански скали* (биотитови и амфибол-биотитови феноадезити); *Качовска свита* (пясъчници с конгломерати и алевролити); *Ракитнишка свита* (пясъчници с прослойки от конгломерати и алевролити); *Лулевска свита*. (песъчливи алевролити и аргилити, пясъчници, битумолити и въглища) (Маринова, Загорчев, 1993).

Въгленосни са неогенските наслаги, които са поделени от Вацев (1991) на: *Драчевишка конгломератна свита*. Дебелината ѝ е 150-250 m. Възрастта на свитата е ранномеоценска. Изградена е от светлорозови и светлосиви груботеригенни скали: валунни конгломерати, едро- до дребнокъсови конгломерати и брекчоконгломерати. *Орановска въгленосна свита*. Дебелината на свитата е 150-200 m. Възрастта ѝ е миоценска, вероятно баденска. Орановската свита е представена от асоциация на пясъчници и алевролити (места и гравелити и конгломерати) с песъчливи глинени, аргилитоподобни, слабо обогатени с битуми глинени и

въглищни глинени Въглищни пластове с промишлено значение има само в района на кв. Ораново в ивица с дължина около 2 km и почти такава ширина. В останалите части на басейна са установени само слаби въглепроявления. В района на кв. Ораново в един вертикален интервал от 100-300 m са развити от 1 до 16 въглищни пласта. Въглищните пластове имат дебелина от 1 до 8 m с локални удебелявания (до 30 m) и разединявания. *Дуарска пясъчниково-конгломератна свита*. Дебелината на свитата е 150 - 300 m. Изградена е от конгломерати, пясъчници, песъчливи глинени. Възрастта на свитата е сармат-меотска. *Градевска конгломератна свита*. Дебелината на свитата е 300-600 m. Възрастта ѝ се определя като късномиоценска, вероятно меот-понтска. Градевската свита е изградена от блоково-валунни и валунни конгломерати, характерно представени в долната част на свитата, а също и от конгломерати, аркозни и полимиктови пясъчници. *Ревалска конгломератно-пясъчникова свита*. Дебелината на свитата е 500-700 m. Възрастта на свитата се определя като понтска. Изградена е от пясъчници, глинести пясъчници и песъчливи глинени. Въгленосните наслаги са покрити от Калиманска свита (блоково-валунни гнайс-гранитни конгломерати и кватернерните образувания (пролувиални наносни конуси и алувиални дребнокъсови полигенни чакъли, дребно- до грубозърнести пясъци и глинести пясъци) (Маринова, Загорчев, 1993).

Ораново-Симитлийският въглищен басейн представлява ровова структура, грабен-синклинала (Симитлийски грабен). Тя е ориентирана по дългата си ос ЮЗ-СИ. Дължината ѝ е 15 km, а ширината до 6-7 km в централната част и до 1 km в крайните. Бедрата на синклиналата имат наклон 20-35°, а към вътрешността на басейна наклонът им достига до 40-45°. Амплитудата на установените разседа е 30-60 m.

Гоцеделчевски басейн. В района са установени скали с различна възраст. Докамбрийските скали са представени от *Богутевска плагиогнайсова свита* (биотитови, мусковит-биотитови и амфиболитови гнайси); *Въчанска свита* (биотитови и амфибол-биотитови гнайси); *Бойковска свита* (двуслюдени и биотитови гнайси); *Бачковска свита* (лептинити - мусковитови, биотитови и двуслюдени); *Луковишка гнайсошистова и шистова свита* (гнайси, гнайсошисти, шисти, мрамори и амфиболити); *Добростанска мраморна свита* (мрамори, прослоени от калкошисти, гнайсошисти и амфиболити); *Комплекс на метавулканистите от Родопската надгрупа* (амфиболити, гнайси и амфибол-епидотови шисти) (Кожухаров, Маринова, 1994). Горнокредни скали се установяват в *Тешовския плутон* (биотитови, амфибол-биотитови гранити и гранодиорити) (Кожухаров, Маринова, 1994). Въгленосни са неозойските седименти, в които са отделени пет литостратиграфски единици: *Долна брекчоконгломератна задруга*. В състава ѝ участват конгломерати, брекчоконгломерати, изклинващи пластове от пясъчници. В най-горната част на разреза се установяват въглепроявления (Кожухаров, Маринова, 1994). Възрастта е вероятно горноеоценска (Кожухаров, Маринова, 1994). Дебелината на задругата е до 1000m. *Вулканогенно-седиментен комплекс*. Изграден е от седиментни скали (конгломерати с прослойки от аркозни

пясъчници, алевролити и въглища), туфи, туфити и туфови пясъчници и вулканити (трахириодацити, трахидацити, риодацити и дацити) (Кожухаров, Маринова, 1994). Възрастта на вулканогенно-седиментния комплекс е горноеоценска до долно- средноолигоценска (Кожухаров, Маринова, 1994). *Валевшика свита*. Изградена е от валунни конгломерати и едро- до дребнозърнести пясъчници с обща дебелина от 0 до 100 m. Възрастта ѝ е определена като понт-дакса (Вацев, 1980). *Балдевска свита*. В състава ѝ влизат средно- до дребнозърнести конгломерати, пясъчници, алевролити, глини, диатомити и въглища. Въглищните пластове са привързани към долната и горната част на свитата и са до 14 на брой. Общата дебелина на наслагите е 100-250 m. Възрастта на свитата е понт-дакса (Вацев, 1980). *Неврокопска свита*. Изградена е от разнозърни конгломерати, от дребно- до грубозърнести пясъчници, алевролити и пясъчливи глини с плиоценска възраст – роман (Вацев, 1980). Дебелината ѝ варира от 50-100 до 500 m. Кватернерните образувания са представени преди всичко от пролувий и алувий. Алувиалните образувания имат значително развитие по долините на р. Места. Представени са от чакъли, валуни и разнозърнести пясъци с дебелина до 28m. Те са руслови, от заливните тераси и от I и II надзаливни тераси (Кожухаров, Маринова, 1994). Пролувиалните образувания са засебени като наносни конуси в периферията на котловините.

Неогенските наслаги са отложени в южната част на Местенския грабен със северозападна посока. Той е оформен от разломите на Местенската разломна зона с посока 280-290 до 300-330°. По-големи разломи в района са: Огняновски – разделя скалите на Балдевската свита от тези на Бойковската; Гърменски – разделя Балдевската от Неврокопската свита; Вълкоселски; Блатски; Бесленски (Кожухаров, Маринова, 1994).

Методика

Въглищните пластове в изследваните басейни са опробвани в по 10 забоя. Вzeti са общо 20 пластови проби.

За изследване на петрографския състав въглищата са смлени до 1mm, споени с епоксидна смола и полирани. Така изработените аншлиф-брикети са изследвани в отразена и флуорисцентна светлина в маслена имерсия на микроскоп NU-2, снабден с приставка за флуорисцентна микроскопия и обектив 40x/0.65. Мацералният анализ е извършен по т.н. Two Scan метод. Използвано е автоматично броячно устройство тип Eltinor 4, за да се определи процентното съдържание на мацералите и минералите, като във всяка проба са снемани отчети от минимум 500 точки. На микроскоп Leica DMRX с микрофотометър MPV-SP, при дължина на вълната $\lambda = 546\text{nm}$, маслена имерсия ($nd=1.515$), обектив 50x/0.85 и еталон Gadolinium-Gallium-Granat ($R=0,899$) съгласно стандарта, е измерена отражателната способност на витринита (хуминита) в 100 точки във всеки шлиф.

Резултати и дискусия

Ораново-симитлийски басейн

Класифициране на въглищата по Международната класификация на въглищата в пласта. Въглищата от Ораново-симитлийския басейн според топлината на изгаряне могат да се определят като въглища от нисък ранг – лигнити В. Средната топлина на изгаряне на влажно безпепелно гориво е 19,17 MJ/kg. (табл. 1) Средните стойности на показателя на отражение на хуминита за тези въглища е под 0,6% - 0,26 до 0,31 (средно 0,287%), което също свидетелства за въглища от нисък ранг.

Таблица 1

Резултати от химическия анализ на въглищата

Басейн,	W_t , %	W^a , %	A^{db} , %	S_t^{db} , %	Q_s^{daf} , MJ/ kg	Q_s^{maf} , MJ/ kg
Ораново-симитлийски	26,9	11,0	24,09	3,14	26,60	19,17
Гоцеделчевски	13,7	9,15	14,77	2,14	28,63	24,69

W_t , % – обща влага; W^a , % – аналитична влага; A^{db} , % – пепелно съдържание на суха маса; S_t^{db} , % – обща сяра на суха маса; Q_s^{daf} , MJ/ kg – Топлина на изгаряне на сухо безпепелно гориво; Q_s^{maf} , MJ /KG – Топлина на изгаряне на влажно безпепелно гориво.

Втората характеристика – петрографският състав определя орановските въглища като ивичести предимно хумусни въз основа на съдържанието на трите групи мацерали: гр. Хуминит – 81,0%; гр. Липтинит – 18,4%; гр. Инертинит – 0,6% (табл. 2).

Третата характеристика е качеството на въглищата. Въглищата от Ораново-симитлийския басейн са с ниско качество, тъй като средното им пепелно съдържание е 24,09%. В отделните проби то варира от 15,0 до 30,0%.

Всички тези резултати се илюстрират от фигура 1, която показва Международната класификация на въглищата в пласта и мястото на орановските въглища в нея, а именно – *ивичести предимно хумусни от нисък ранг В – лигнити с ниско качество*.

Кодифициране на въглищата по Международната система на кодификация. Според средните стойности на основните параметри за въглищата от пласта е определен следният код:

26 26 24 31

Този код означава, че средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 26,0 до 26,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 26,0 до 26,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 24,0 до 24,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 3,10 до 3,19%. Точните стойности на показателите са изложени в таблица 1.

Таблица 2

Резултати от петрографския анализ на въглищата

Басейн	Група Хуминит, %	Група Липтинит, %	Група Инер-тинит, %	Отражение на хуминита Γ_o , %
Ораново-симитлийски	81,0	18,4	0,6	0,29
Гоцеделчевски	80,6	19,1	0,3	0,25

Гоцеделчевски басейн

Класифициране на въглищата по Международната класификация на въглищата в пласта. Определената средна топлина на изгаряне на влажно безпепелно гориво е 15,86 MJ/kg. Въглищата от Гоцеделчевския басейн според топлината на изгаряне могат да се определят като въглища от нисък ранг – лигнити В. Средните стойности на показателя на отражение на хуминита за тези въглища е под 0,6% - от 0,228 до 0,262% (средно 0,246%) (табл. 1), така че те могат да бъдат определени като въглища от нисък ранг.

Втората характеристика – петрографският състав определя гоцеделчевските въглища като ивичести предимно хумусни. Липоидните мацерали тук са с най-голямо количество от трите басейна. Съдържанието на трите групи мацерали е както следва: гр. Хуминит – 80,6%; гр. Липтинит – 19,1%; гр. Инертинит – 0,3% (табл. 2).

Третата характеристика е качеството на въглищата. Гоцеделчевските въглища могат да се определят като такива с ниско качество, тъй като средното им пепелно съдържание е 26,84% (табл. 1). В отделните проби обаче то варира от 13,9 до 37,7% (табл. 2). Над 30% пепелността е само две проби - пр. 2 и 8, съответно 36,3 и 37,7%, което определя в мястото на опробване въглищата като такива с много ниско качество. От друга страна в пр. 10 пепелното съдържание е 13,9% и въглищата са със средно качество. За целия пласт, според изискванията на Международната класификация на въглищата в пласта, гоцеделчевските въглища са с ниско качество.

Всички тези резултати се илюстрират от фиг. 2, която показва Международната класификация на въглищата в пласта и мястото на изследваните въглища в нея, а именно – *ивичести предимно хумусни от нисък ранг В – лигнити с ниско качество*.

Препоръчана за публикуване от
Катедра “Геология и проучване на полезни изкопаеми”, ГПФ

Класифициране на въглищата по Международната система на кодификация. За гоцеделчевските въглища е определен код:

26 37 26 25

Според този код средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 26,0 до 26,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 37,0 до 37,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 26,0 до 26,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 2,50 до 2,59%. Точните стойности на показателите за пласта са показани в таблица 1.

Заклучение

Въглища от два басейна от Струмско-местенската провинция са класифицирани по Международната класификация на въглища в пласта (*International Classification of in-Seam Coals*, 1998). Според средните стойности на основните параметри е извършено кодифициране на същите въглища съгласно Международната кодификационна система за въглища от нисък ранг (*Low-rank Coal Utilization. International Codification System*, 2002).

Въглищата и от двата басейна са **ивичести предимно хумусни от нисък ранг В – лигнити с ниско качество**. Определени са кодовете на въглищата както следва: Ораново-симитлийския басейн – **26 26 24 31**, Гоцеделчевски басейн – **26 37 26 25**.

Литература

- Вацев, М. 1980. Литостратиграфия на неогенските седименти от Гоцеделчевската котловина. – *Год. ВМГИ*, 25, 2, 103-115.
- Вацев, М. 1991. Литостратиграфия на неогена от Симитлийския и Брежанския грабен. – *Год. МГУ*, 37, 1, 23-38.
- Маринова, Р., И. Загорчев. 1993. *Геоложка карта на България М1:100000, картен лист Разлог. Обяснителна записка*. Геология и геофизика АД, 62 с.
- Кожухаров, Д., Р. Маринова 1994. *Геоложка карта на България М1:100000, картен лист Гоце Делчев. Обяснителна записка*. Геология и геофизика АД, 58 с.
- International Classification of in-Seam Coals*. 1998. United Nations, New York, 41 pp.
- Low-rank Coal Utilization. International Codification System*. 2002. United Nations, New York, 64 p.

ХИМИЧЕН СЪСТАВ НА НЕФРИТОВИ НЕОЛИТНИ АРТЕФАКТИ ОТ БЪЛГАРИЯ В СРАВНЕНИЕ С АНАЛИЗИ ОТ СВЕТОВНИ НАХОДИЩА

Руслан И. Костов

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

РЕЗЮМЕ. Изучен е химичният състав на нефрит-съдържащи артефакти от територията на югозападна България (намерени в неолитните селища Гълъбник, Българчево и Ковачево по долината на р. Струма) като е сравнен с анализи на нефритови артефакти от Централна Европа и с нефритови проби от различни находища по света с оглед да се даде по-добра представа за възможния източник или източници на суровината. Представени са осреднени данни от 230 анализа на нефрит от два генетични типа – апосерпентинитов и апокарбонатен. Допълнителни анализи на хромшпинелидни фази намирани като включения в нефритите се предлагат като възможни минералогични и геохимични указатели при изучаване в бъдеще на нефритови проявления. Произходът на нефритовите артефакти е предположително свързан с проявите на серпентинити в югозападната част на Балканския полуостров (включващ части от южна България, западна Македония, Албания и северна Гърция), където освен благоприятната геоложка обстановка са установени и археологически свидетелства.

CHEMICAL COMPOSITION OF NEPHRITE NEOLITHIC ARTIFACTS FROM BULGARIA IN COMPARISON TO ANALYSES FROM WORLD DEPOSITS

Ruslan I. Kostov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1000; rikostov@mgu.bg

ABSTRACT. The chemical composition of nephrite-bearing artifacts from the territory of SW Bulgaria (found at the Neolithic sites Galabnik, Bulgarchevo and Kovachevo along the Struma valley) has been compared to analyses of nephrite artifacts from Central Europe and of nephrite samples from different deposits worldwide in order to have a better understanding of the possible source or sources of the raw material. Average data of 230 analyses display the two main genetic types of nephrites – related to serpentinites and to carbonate rocks. Additional analyses of the chrome-spinel minerals found as inclusions in the nephrite mass are listed as a possible mineralogical and geochemical tool for discrimination of possible nephrite deposits in the future. The origin of the nephrite artifacts is supposed to be related to serpentinite occurrences in the SW Balkan peninsula region (including parts of Southern Bulgaria, Western Macedonia, Albania and Northern Greece), where a favourable geological setting and archaeological evidences exist both.

Изучаването на нефритови артефакти от праисторически (неолитни и халколитни епохи) селища на територията на страната (Костов, Бакъмска, 2004; Костов, Геннадиева, 2004; Костов, 2005; Kostov, 2005; Kostov, Lang, 2005; Костов, Мачев, 2007) постави въпроса за произхода на суровината, тъй като на Балканите към настоящия момент не са публикувани данни за коренни находища на нефрит. Широкото разпространение на този гемологичен материал и използването му като престижна и атрактивна суровина (Николов, 2005) през указаните исторически епохи насочва вниманието към търсене на коренни находища както на територията на България (с перспектива в известните със серпентинизирани ултрабазити югозападни и южни такива находища и проявления), така и на територията на съседни страни в указаните посоки. Беше въведено понятието "Балканска нефритова култура" с оглед уникалността на установената поява и обработката на голям брой нефритови изделия най-рано на Балканите вероятно за пръв път в световен аспект (Kostov, 2005).

В настоящото изследване е направен опит за насочване към критерии за евентуална диагностика на произхода на суровината за артефактите въз основа на

техния химичен (микросондов) анализ и някои други особености (физични свойства и парагенетични асоциации). Изследвани са следните нефритови артефакти от находки в неолитни селища от югозападна България: Г1 – Гълъбник, №92/330, светложелен, фрагмент от тесла (ранен неолит); Г2 – Гълъбник (заличен номер), тъмнозелен, фрагмент от тесла (ранен неолит); Б1 – Българчево (от южния изкоп), №870, светложелен, фрагмент от тесла (късен неолит; възможно фаза БIII-IV); К1 – Ковачево, №54499/2001, светложелен, фрагмент от тесла с асиметричен ръб (ранен неолит); К2 – Ковачево, №46203/1999, тъмнозелен, фрагмент от длето (ранен неолит); К3 – Ковачево, №30939/1996, синкавозелен, фрагмент от тесла (ранен неолит); К4 – Ковачево, №58175/2001 (ранен неолит). За сравнение към артефактите се разглежда и проба от Швейцария – фрагмент от неолитна нефритова тесла от наколни жилища при Lüscherz, Bielersee (Природонаучен музей, Берн, №3982).

Съставът на нефрита от посочените артефакти е сравнен с проби нефрит от различни находища по света: тъмнозелен нефрит от Полша (находище Йорданов); бледозеленикав нефрит от Швейцария (мина Scortaseo

при Poschiavo в кантон Graubünden; Природонаучен музей, Берн, №A7706); тъмнозелен нефрит от Русия (от Саяните) и тъмнозелен нефрит от Нова Зеландия (Южния остров). Само в последната от изброените проби се наблюдават визуално по-големи включения от хромшпинелидни фази. Проблемът за произхода на нефрит-съдържащите артефакти съществува и в други страни от Европа – например, за образците от Сардиния и някои образци от Швейцария.

Микросондовите анализи са извършени на апарат JEOL Superprobe 733 (напрежение 15 kV; ток 1 nA; размер на електронния лъч 8x8 µm). Получените данни са отразени в таблица 1. За сравнение на данните от 8 анализи на нефрити от артефакти, в таблицата са дадени и такива анализи (19 на броя) по литературни данни от други места в Европа (приемат се за по-късни по възраст сравнени с тези от територията на България).

Химичните състави на нефрита от артефактите в неолитните селища Гълъбник, Българчево и Ковачево са близки. Това проличава при сравняване на средните състави от проведените анализи (№15-17). Високото съдържание на FeO в някои анализи показва, че амфиболът от тремолитов по състав в някои случаи попада в полето на актинолита (срв. *Номенклатура амфиболов*, 1997). Тези данни също така насочват към идеята за единен или близък по генетичен признак произход на суровината, независимо от разликата във

възрастта на находките. Освен това всичките от посочените праисторически селища са разположени по долината на р. Струма, която е била един от най-благоприятните пътища за проникване във вътрешността от юг на север в Балканския полуостров. Получените данни представляват интерес и във връзка с факта, че са анализирани различни по цвят нефритови изделия – от яркочълтозелени до сивозеникави и тъмнозелени. Сравнението на анализи, направени от микроанализатор и на тези от химичен анализ явно показват преимуществата на локалния анализ, при който се пренебрегват включения от евентуални странични за дадения минерал фази (Bertorino et al., 2002).

Към физичните особености на нефрита могат да се разгледат някои цветови, структурни и текстурни особености. Направените оптични и други спектроскопски изследвания (инфрачервена спектроскопия; Мьосбауерова спектроскопия; електронен парамагнитен резонанс) на природни нефрити от различни находища по света (Платонов и др., 1975; Сутурин и др., 1980; Сутурин, Замелетдинов, 1984) показваха, че цветът не може да бъде сигурен диагностичен белег за принадлежност към определен нефритосен район или находище, а хромоформните елементи Fe²⁺, Fe³⁺ и Cr³⁺ показват голям размах на съдържание понякога дори в рамките на едно находище.

Таблица 1

Химични и микросондови анализи на нефрит от праисторически неолитни артефакти от българска територия (№1-8) и от други европейски страни (№9-14); №15-22 средни анализи по изучени обекти за сравнение (в скоби брой анализи; *по данни на Костов, Мачев, 2007; **по данни на Bauer, 1914; ***по данни на Bertorino et al., 2002)

№, Находище, страна	CaO	NaO	K ₂ O	MgO	FeO _{tot}	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O
1. Гълъбник-1	13.20	0.34	0.14	21.29	4.66	0.18	0.00	0.00	57.48	2.71
2. Гълъбник-2	13.15	0.44	0.09	21.87	4.56	0.00	0.03	0.00	58.41	1.45
3. Българчево-1	13.34	0.23	0.09	22.01	4.20	0.11	0.07	0.00	57.86	2.10
4. Ковачево-1	12.88	0.14	0.11	21.98	3.16	0.10	0.08	0.00	58.14	3.41
5. Ковачево-2	13.31	0.33	0.06	20.90	5.26	0.00	0.15	0.00	58.37	1.62
6. Ковачево-2а*	13.72	-	-	22.77	4.23	-	-	-	59.28	-
7. Ковачево-3	13.28	0.36	0.08	22.43	3.00	0.15	0.18	0.00	58.42	2.03
8. Ковачево-4	13.04	0.30	0.13	22.40	3.66	0.00	0.12	0.00	57.48	2.87
9. Биелерзее, Швейцария	13.19	0.28	0.07	21.87	3.94	0.20	0.34	0.01	57.69	2.41
10. Швейцария**	13.34	0.48	0.10	22.43	5.24	0.02	-	0.50	58.66	0.12
11. Сардиния-1***	12.86	0.15	0.05	20.47	5.92	0.11	0.01	0.51	56.86	-
12. Сардиния-2***	12.46	0.11	0.03	20.86	5.57	0.05	0.05	0.40	57.13	-
13. Сардиния-3***	12.77	0.04	0.02	21.40	3.34	0.10	0.01	0.59	56.10	-
14. Сардиния-4***	13.12	0.06	0.02	22.10	3.48	0.13	0.01	0.70	55.96	-
15. Гълъбник (2)	13.17	0.39	0.11	21.58	4.61	0.09	0.01	0.00	57.94	2.08
16. Българчево (1)	13.34	0.23	0.09	22.01	4.20	0.11	0.07	0.00	57.86	2.10
17. Ковачево (5)	13.25	0.28	0.10	22.10	3.86	0.06	0.13	0.00	58.34	1.99
18. Сардиния (8)***	11.51	0.17	0.20	21.20	6.83	0.20	0.13	2.61	53.99	-
19. Маулах, Бодензее(6)**	12.72	-	-	21.64	6.93	-	-	-	56.30	2.08
20. Езеро Ноенбург (2)**	13.02	-	-	22.33	3.53	Сл.	-	1.56	56.33	2.47
21. Рюген (1)**	12.95	-	-	24.50	2.66	0.22	-	-	57.39	3.13
22. Австрия (2)**	13.53	-	-	21.04	5.33	-	-	1.90	54.98	2.77

По цвят (както и по химичен състав) се отличават главно двете основни генетични групи нефрити – апосерпентинитовите са зелени до тъмнозелени с различни оттенъци и примеси, а апокарбонатните

обикновено са бели или светлооцветени. От това емпирично правило обаче също има изключения, като са описани бледооцветени нефрити от Нова Зеландия с високи железни съдържания (Wilkins et al., 2003). Сивите и

сивозеленикавите нефрити са обикновено с тремолитов състав, а тези с зелен до тъмозелен – с актинолитов състав.

По текстура нефритите също могат да варират в рамките на нефритоносното тяло или поле – еднотонни, петнисти, ивичести, без наличие или със съдържание на малко или с повече от характерните предимно хромшпинелидни включения. Отбелязва се, че от нискосортните към високосортните нефрити се отбелязва намаляване на размера на влакната на предимно тремолитовия по състав амфибол, увеличава се отношението дължина към диаметър, наблюдава се двойниковоане и образците се характеризират с еднородност и линейност в разположението на влакната (Коваленко и др., 1985).

За приблизителна идентификация на нефрити от различни находища по химичен състав е направен опит за

сравнение на средните анализи по публикувани данни на нефрити от европейски и други световни находища (Таблица 2; обобщени са 230 анализа, от които 5 нови). Една част от анализите са стари, но пък за находища, за които няма нова информация. Това е особено важно за находищата от планината Кунлун, снабдявали от дълбока древност не само предимно Китай, но и Средна Азия – те са разположени по станалия прочут през средновековието “Път на коприната”. Другата характерна особеност за “китайския” нефрит е, че той е свързан и с двата основни генетични типа находища – апосерпентинитовия и апокарбонатния.

Освен известното находище Йорданов в Полша (Гефлик, 1968), напоследък са описани някои от находищата на нефрит в Швейцария при Скортасео (Nichol, Giess, 2005c) и Вал Фалер (Welter, 1911; Nichol, Giess, 2005a), както и в Италия при Вал Маленко (Nichol, Giess, 2005b).

Таблица 2

Среден химичен състав (тегл. %) на нефрити от различни находища (в някои случаи и по различни автори) по света и от райони на нефритови артефакти (в скоби брой анализи; определен е само FeO или FeO_{tot}; * по данни на: 1 – Сутурин, Замелетдинов, 1984; 2 – Колесник, 1966; 3 – Коваленко и др., 1985; 4 – Никитин, Степанов, 1973; 5 – Гурулев, Шагжиев, 1973; 6 – Летников, Секерин, 1983; 7 – Leaming, 1979; 8 – Bauer, 1914; 9 – Welter, 1911; 10 – Bertorino et al., 2002; 11 – Wilkins et al., 2003)

Находище	CaO	NaO	K ₂ O	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	Al ₂ O ₃	SiO ₂	H ₂ O	*
Куртушибинско, Русия (3)	12.71	0.02	0.03	22.99	3.17	0.78	0.19	0.05	1.23	57.36	1.36	1
Куртушибинско, Русия (12)	11.55	0.09	0.04	22.77	4.09	1.01	0.11	0.05	2.00	55.47	2.60	6
Оспинско, Русия (23)	12.66	0.10	0.08	21.89	4.12	0.96	0.18	0.04	1.09	56.22	1.69	1
Оспинско, Русия (5)	12.51	0.17	0.08	21.98	4.58	0.74	0.17	0.12	1.59	56.40	1.77	6
Горликогско, Русия (8)	11.94	0.06	0.14	22.73	3.28	1.43	0.16	0.05	1.39	55.68	2.58	1
Горликогско, Русия (13)	12.30	0.12	0.06	22.69	4.42	0.63	0.10	0.04	1.29	55.99	2.05	6
Зуносинско, Русия (6)	12.02	0.16	0.06	22.86	4.38	0.32	0.09	0.05	1.21	55.30	0.14	1
Бортогско, Русия (2)	12.96	0.05	0.02	22.74	2.58	1.50	0.07	0.00	0.62	57.06	1.17	1
Уланходинско, Русия (22)	12.32	0.06	0.05	22.79	3.30	1.28	0.17	0.03	1.20	55.58	1.93	1
Хохюртово, Русия (1)	13.04	0.05	0.04	21.67	3.50	0.97	0.20	0.02	0.63	56.56	1.80	1
Хамарходинско, Русия (16)	12.56	0.07	0.05	22.33	3.27	1.14	0.28	0.10	1.19	55.99	1.14	1
Хамарходинско, Русия (11)	12.37	0.12	0.08	21.32	3.65	0.82	0.19	0.04	1.44	57.40	1.98	6
Парамско, Русия (18)	12.07	0.13	0.10	22.27	4.12	0.98	0.11	0.07	2.09	54.49	2.78	1
Парамско, Русия (3)	12.56	0.12	0.07	22.71	4.20	0.94	-	0.18	1.40	54.76	0.14	5
Парамско, Русия (8)	12.60	0.13	0.03	22.51	3.70	1.08	0.11	0.08	1.50	55.05	2.78	6
Буромско, Русия (4)	13.11	0.20	0.20	24.20	1.08	0.09	0.06	0.01	1.14	55.62	0.32	1
Витимско, Русия (12)	12.78	0.10	0.08	25.45	0.59	0.76	0.08	0.01	1.03	57.06	0.76	1
Витимски район, Русия (7)	13.38	0.13	0.16	24.46	0.52	0.46	0.05	0.03	1.47	56.96	1.83	6
Халиловско, Урал, Русия (2)	08.68	0.10	0.13	25.78	2.85	1.66	0.07	0.12	0.53	53.82	1.27	4
Казахстан (2)	10.74	0.43	0.04	23.13	4.95	0.08	0.40	0.04	1.35	54.41	-	2; 3
Кунлун-1, Китай (10)	12.80	-	-	24.56	0.54	-	0.02	-	1.52	56.42	3.23	8
Кунлун-2, Китай (10)	13.37	-	-	21.26	2.51	-	0.13	-	1.48	57.48	2.92	8
Фентъян, Тайван (4)	12.08	0.17	0.07	22.91	4.41	-	0.11	-	1.10	56.68	1.94	1
Нова Зеландия-1 (7)	13.1	0.1	0.1	22.0	4.61	-	0.13	-	0.62	57.0	2.1	11
Канада (непосочен)	12.6	-	-	21.4	3.60	-	-	-	1.8	56.0	3.5	7
Салюкс, Швейцария (2)	12.70	-	-	22.10	4.50	-	-	-	1.70	57.10	0.90	9
Вал Фалер-1, Швейцария (1)	13.70	-	-	20.20	2.10	-	-	-	6.40	56.10	2.40	9
Вал Фалер-2, Швейцария (2)	11.37	-	0.06	25.29	4.31	0.64	-	-	3.22	51.02	3.85	8
Харцбург, Германия (2)	15.02	-	-	18.51	5.02	0.24	Сл.	0.01	1.15	56.36	2.96	8
Франкенвалд, Германия (3)	11.75	-	-	22.41	3.32	-	-	-	2.79	55.41	3.91	9
Лигурия, Италия (1)	12.97	-	-	21.41	2.76	-	-	-	2.73	56.51	2.96	8
Йорданов-1, Полша (4)	13.45	-	-	20.45	3.76	0.22	0.43	-	1.11	57.99	2.18	8
Скортасео, Швейцария	12.52	0.74	0.26	24.00	0.35	-	0.14	0.02	0.00	58.75	3.23	-
Йорданов-2, Полша	13.51	-	-	21.78	3.35	-	0.16	0.13	0.87	57.70	2.50	-
Саяни, Русия-1	13.17	-	-	21.89	4.19	-	0.05	0.05	0.66	58.19	1.80	-
Саяни Източни, Русия-2	12.95	-	-	20.40	6.16	-	0.17	0.06	0.42	57.74	2.06	-
Нова Зеландия-2	13.22	-	-	21.83	3.89	-	0.13	0.11	0.19	58.31	2.31	-

В южната част на Сибир, в Саяно-Байкалската нагъната област са представени най-голям брой находища в Руската Федерация. Куртушинското находище се отнася към едноименния ултрабазичен масив попадащ в Западносаянския нефритоносен район. Оспинското (едно

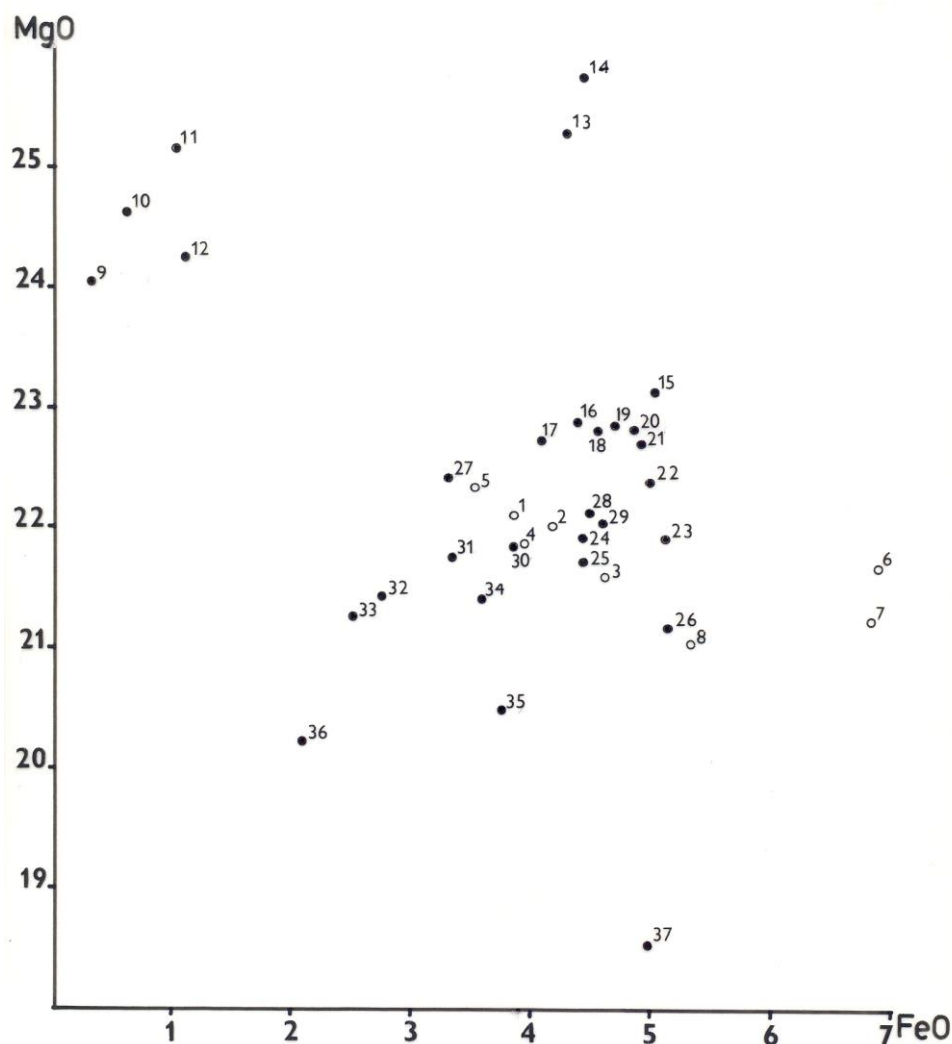
от най-големите), Горликогското, Зуносинското и Бортогскогското находища се включват към Оспинско-Китойския ултрабазичен масив на Източносаянския нефритоносен район, Уланходинското находище – към Харанурския ултрабазичен масив на същия район, а

Хохюртовското и Хамархудиинското находище – към съответните масиви на Джидинския нефритоносен район. Към Витимския нефритоносен район се отнася Парамското находище от съответния масив от Байкало-Муйския ултрабазитов пояс, което е апосерпентинитово по генезис като всички по-горе изброени, а апокарбонатни по генезис са находищата Буромско и Витимско (срв. Сутурин, Замелетдинов, 1984). В Централен и Източен Казахстан нефрити са описани от Чу-Илийския и Чарския пояси (Колесник, 1966; Коваленко и др., 1985).

Средните анализи на нефритовите артефакти от югозападна България попадат по отношение на съдържанията на FeO_{tot} и MgO в полето на апосерпентинитовите генетични находища на нефрит (фиг. 1). Най-близки до тях по състав са анализите на нефрити от Джидинския ултрабазичен масив (находища Хамархудиинско и Хохюртовско) в Саяно-Байкалската област, като това сходство може да се използва за

сравнителна оценка и използване на различните геолого-тектонски и минералого-петрографски фактори при търсене на коренно находище или група такива на Балканите. По отношение на европейските нефритови проявления анализите се доближават до тези на нефрита от Салюкс в Швейцария, а по отношение на други райони на света – до новозеландския нефрит, както и в известна степен до този от канадските Кордилиери.

Изучените нефритови артефакти са предимно представители на масивния тип текстура без ясно видими петна от хромпинелидни и магнетитови фази, каквито са познати от други находки в страната (например от неолитното селище Кърджали или от халколитния некропол Варна II). Такива хромшпинелидни фази се наблюдават с микроскопични размери при голямо увеличение (срв. Kostov, 2005), като в някои случаи тяхното присъствие е свързано и с по-тъмния цвят на нефрита.



Фиг. 1. Среден химичен състав (в координати $\text{MgO}-\text{FeO}_{\text{tot}}$) на нефрит от артефакти (○; №1-7) в Европа и от известни находища (●; №9-37) по света: 1 – Ковачево; 2 – Българчево; 3 – Гълъбник; 4 – Биелерзее; 5 – Ноенбург; 6 – Бодензее; 7 – Сардиния; 8 – Австрия; 9 – Скортасео; 10 – Кунлун-1; 11 – Витимско; 12 – Буромско; 13 – Халиловско, Урал; 14 – Вал Фалер-2; 15 – Казахстан; 16 – Тайван; 17 – Бортоголско; 18 – Уланхудиинско; 19 – Зуноспинско; 20 – Куртушибинско; 21 – Горлигголско; 22 – Парамско; 23 – Оспинско; 24 – Хамархудиинско; 25 – Хохюртовско; 26 – Саяни; 27 – Франкенвалд; 28 – Салюкс; 29 – Нова Зеландия-1; 30 – Нова Зеландия-2; 31 – Йорданов-2; 32 – Лигурия; 33 – Кунлун-2; 34 – Канада; 35 – Йорданов-1; 36 – Вал Фалер-1; 37 – Харцбург

Анализите на хромшпинелидите с хромпикотитов състав от нефритите показват известни различия (таблица

3): анализите от Гълъбник и Българчево са близки по съдържание на Cr_2O_3 , но се различават по съдържание на

FeO и Al₂O₃, докато при случая с анализите на проби от Българчево и Ковачево се отбелязва наличие на най-ниско съдържание на Cr₂O₃. За анализите от Ковачево е характерно максимално съдържание на MnO. Около зърната от хромшпинелиди от пробата от Ковачево се

отбелязват ореоли от хром-съдържащ хлорит. Най-общо може да се приеме, че хромшпинелидите от изучените нефритови артефакти от съответните селища (те са различават и по възраст) въпреки някои химични сходства не са с единен коренен източник.

Таблица 3

Химичен състав на хромшпинелидни включения от нефритови артефакти от България (тегл. %): 1-6 единични анализи; 6-8 сравнение на средни анализи за съответните проби и находки (в скоби – брой анализи)

Образец	Cr ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO
1. Гълъбник-2	50.47	26.52	13.52	0.47	9.01	0.18
2. Българчево-1a	50.86	18.22	18.98	0.04	12.17	0.37
3. Българчево-1b	51.95	17.95	18.51	0.10	12.05	0.11
4. Ковачево-2a	45.39	18.15	21.90	н.о.	12.32	2.25
5. Ковачево-2b	47.89	18.58	20.01	н.о.	11.62	1.89
6. Гълъбник-2 (1)	50.47	26.52	13.52	0.47	9.01	0.18
7. Българчево-1 (2)	51.40	18.08	18.74	0.07	12.11	0.24
8. Ковачево-2 (2)	46.64	18.36	20.95	н.о.	11.97	2.07

В заключение, анализът на химичния състав на нефритови артефакти с неолитна възраст, намерени на територията на югозападна България по долината на р. Струма (селища Гълъбник, Българчево и Ковачево), показва, че те са направени от суровина, която е свързана генетично с апосерпентинитовия тип находища. Липсата на значителни различия в химичния състав на самите нефрити, както и слабата вариация в състава на съдържащите се в тях хромшпинелиди сочат възможен единен източник на суровината за тази част на страната. Сравнението на получените анализи с такива от нефритови артефакти от европейска територия, както и със средните анализи на нефрит от находища предимно от целия евроазиатски ареал показват от една страна известни различия, а в някои случаи прилики, могат да служат за модел при изучаване на търсещи признаци. В този аспект е редно насочване на вниманието към търсене на коренни находища на нефрит главно в югозападната част на Балканския полуостров, където геоложката обстановка с разпространението на серпентинизирани ултрабазити и находките на нефритсъдържащи артефакти на териториите на южна България, западна Македония, Албания и северна Гърция се явяват като благоприятна предпоставка за откриването на този престижен и рядък за региона гемологичен материал.

Благодарности: Авторът дължи благодарност на проф. д-р М. Лихардус (Университет Париж-1, Париж), д-р М. Кулова-Гребска, И. Кулов (Исторически музей, Благоевград), А. Бакъмска (Исторически музей, Перник) и Е. Анастасова (Национален археологически институт с музей, БАН) за предоставени образци от нефритови артефакти за изследване, както и на н.с. Ц. Илиев (Геологически институт, БАН) за проведените микросондови анализи. Благодарности се изразяват още към колегата д-р Б. Хофман (Природонаучен музей, Берн) за предоставени литературни източници, както и проби от артефакти от нефрит и природни нефритови образци от швейцарски находища за изследване.

Литература

- Гефлик, В. 1968. Минералогия и генезис нефрита из Йорданова (Нижня Силезия, Польша). – *Зап. Всес. минерал. о-ва*, 97, 1, 96-99.
- Гурулев, С. А., К. Ш. Шагжиев. 1973. Геология и условия образования Парамского месторождения нефрита в Восточной Сибири. – В: *Неметаллические полезные ископаемые гипербазитов*. М., Наука, 234-244.
- Коваленко, И. В., И. П. Хаджи, В. С. Коваленко, А. Ф. Свидиренко. 1985. Особенности микростроения и состава апоультрамафитовых нефритов. – *Зап. Всес. минерал. о-ва*, 114, 6, 707-712.
- Колесник, Ю. Н. 1965. *Нефриты Сибири*. Новосибирск, Наука, 150 с.
- Костов, Р. 2005. Гемологична характеристика на нефритови праисторически (неолитни и халколитни) артефакти от територията на България. – *Год. Соф. унив., Геол.-геогр. фак.*, 97, Кн. 1, Геол., 55-75.
- Костов, Р. И., А. Бакъмска. 2004. Нефритови артефакти от раннонеолитното селище Гълъбник, Пернишко. – *Геология и минерални ресурси*, 11, 4, 38-43.
- Костов, Р. И., В. Геннадиева. 2004. Нефритови праисторически артефакти от Кюстендилско. – *Минно дело и геология*, 10, 35-37.
- Костов, Р. И., Ф. Мачев. 2007. Минераложка и петрографска характеристика на нефритови и други каменни артефакти от неолитното селище Ковачево в югозападна България. – В: *Национална конференция "Праисторически проучвания в България: новите предизвикателства"*, Пещера, 26-29 април 2006.
- Летников, Ф. А., А. Н. Секерин 1983. Особенности состава и генезиса нефритов Саяно-Байкальской горной области. – В: *Минералогия и генезис цветных камней Восточной Сибири*. Новосибирск, Наука, 96-103.
- Никитин, И. Л., А. П. Степанов. 1973. Нефрит в гипербазитах Халиловского массива на Южном Урале. – В: *Неметаллические полезные ископаемые гипербазитов*. М., Наука, 131-133.
- Николов, В. 2005. Престиж и белези на престиж в неолитното общество. – *Археология*, 1-4, 7-17.

- Номенклатура амфиболов (Nomenclature of amphiboles. Leake et al.). 1997. Зап. Всер. минерал. общ., 6, 82-102.*
- Островская, И. В. 1981. Тремолит. – В: *Минералы. Справочник. Том III. Вып. 3.* М., Наука, с. 82.
- Платонов, А. Н., В. П. Беличенко, Л. В. Никольская, Э. В. Польшин. 1975. Об окраске нефритов. – *Конституция и свойств минералов*, 9, 52-58.
- Сутурин, А. Н., Р. С. Замалетдинов. 1984. *Нефриты*. Новосибирск, Наука, 150 с.
- Сутурин, А. Н., Р. С. Замалетдинов, Ф. А. Летников, А. П. Секерин, Г. В. Бурмакина, Т. А. Сутурина, А. Н. Платонов, В. Н. Беличенко, А. Я. Вохменцев. 1980. Минералогия и генезис нефритов СССР. – В: *Самоцветы*. Л., Наука, 87-97.
- Bauer, M. 1914. Nephrit und Jadeit. – In: Doelter, C. 1914. *Handbuch der Mineralchemie. Bd. II, 1. Hälfte*, 649-704.
- Bertorino, G., M. Franceschelli, M. Marchi, C. Lugliè, S. Columbu. 2002. Petrographic characterisation of polished stone axes from Neolithic Sardinia: archaeological implications. – *Periodico di Mineral.*, 71, Spec. Vol. 'Archaeometry and Cultural Heritage', 87-100.
- Kostov, R. I. 2005. Gemmological significance of the prehistoric Balkan "nephrite culture" (cases from Bulgaria). – *Ann. University of Mining and Geology, 48, Part I, Geology and Geophysics*, 91-94.
- Kostov, R. I., F. Lang. 2005. Nephrite artefacts from the Karanovo prehistoric site, Bulgaria. – *Geology and Mineral Resources*, 12, 9, 35-39.
- Leaming, S. E. 1978. Jade in Canada. – *Geol. Surv. Pap., Canada*, 78-19, 59 p.
- Nichol, D., H. Giess. 2005a. Note on nephrite jade from Val Faller, Switzerland. – *J. Gemmology*, 29, 5-6, 299-304.
- Nichol, D., H. Giess. 2005b. Nephrite jade from Mastabia in Val Malenco, Italy. – *J. Gemmology*, 29, 5-6, 305-311.
- Nichol, D., H. Giess. 2005c. Nephrite jade from Scortaseo, Switzerland. – *J. Gemmology*, 29, 7-8, 467-472.
- Welter, O. A. 1911. Ein Beitrag zur Geologie des Nephrites in den Alpen und im Frankenwalde. – *N. Jb. Min. Geol. Pal.*, 2, 1, 86-106.
- Wilkins, C. J., W. Craighead Tennant, B. E. Williamson, C. A. McCammon. 2003. Spectroscopic and related evidence on the coloring and constitution of New Zealand jade. – *Amer. Mineral.*, 88, 8-9, 1336-1344.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ

ГЕОЛОЖКИ СТРОЕЖ, ФАЦИЕСИ И ПРОМИШЛЕНИ СОРТОВЕ ПЯСЪК В НАХОДИЩЕ "ЛИСИЯ", СОФИЙСКО

Радостин Паздеров¹, Петър Петров², Петко Петров³

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; rpazderov@abv.bg

² Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; ppetrov@mgu.bg

³ Национален музей "Земята и хората", София; petkopet@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Находището на пясъци "Лисия" се намира в района на с. Богъовци, Софийска област. То е изградено от плиоценски седименти: пясъци, алевроити, чакъли и глини. В геоложкия разрез на находището се наблюдават латерално засебени от север на юг алувиални и езерни фации. Алувиалните фации са представени предимно от чакъли, пясъци и алевроити, докато езерните – главно от пясъци, алевроити и глини. В южните части на находището, в езерните седименти преобладават глините. Темпорално се наблюдава циклична стратификация на алувиални и езерни седименти. Промислените сортове суровина от находището са пясъци за строителството и пясъци формовъчни.

GEOLOGICAL SETTING, FACIESES AND INDUSTRIAL SORTS SAND IN THE 'LISIYA' DEPOSIT, SOFIA DISTRICT

Radostin Pazderov¹, Petar Petrov², Petko Petrov³

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; rpazderov@abv.bg

² University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; ppetrov@mgu.bg

³ "Man and Earth" National Museum, Sofia; petkopet@abv.bg

ABSTRACT. The Lisia deposit is situated near the village of Bogiovtsi, Sofia region. It consists of Pliocene sediments – sands, aleurites, pebbles and conglomerates. Aluvial or lake facieses could be observed. Aluvial facieses are mainly pebble, sand and aleurite, while the lake sediments are sands, aleurites and clays. In the southern part the lake sediments prevail over the alluvial. One can observe temporally stratified aluvial and lake sediments. The industrial applications of the sand are for dry building mixtures and sands for foundries.

Въведение

В последните години, във връзка с нарастващото жилищно и пътно строителство има засилен интерес към полезните изкопаеми от групата на строителните материали, в частност – кварцовите пясъци. Ареалите на разпространение на кварцовите пясъци на територията на България, в т.ч. в региона на София са ограничени. Те заемат стратегическа позиция във връзка със специфичната си област на приложение в строителството – за производство на сухи строителни смеси. Освен това кварцовите пясъци са търсени и като индустриална суровина - за леярски нужди и производството на газобетон.

Всичко това даде основание на авторите да направят опит за характеристика на такива пясъци от едно от малкото находища в обхвата на Софийския басейн – находище "Лисия" при с. Богъовци, Костинбродско. Находището е проучено детайлно през 2003 г., в резултат на което са изчислени запаси, възлизаци на над половин милион кубически метра кварцови пясъци.

Местоположение

Районът на находище "Лисия" се намира в обхвата на най-северните части на Софийската котловина, на границата с южните склонове на Стара планина, северно от с. Богъовци. Отстои на около 20 km от София и на около 7 km от гр. Костинброд.

Кратки сведения за геоложката изученост на района на находището

Плиоценските наслаги на Софийския басейн са представени от неспоени и слабо споени седименти от речно-езерен тип. Целият район на Софийското поле е обхванат от кондиционно геоложко картиране в различни мащаби (1:100 000, 1:50 000 и 1:25 000), провеждано последователно през 60/80-те години, ревизирано и актуализирано след съставянето на националната геоложка карта в М 1:100 000. В района са провеждани специализирани проучвания за глини за керамичната промишленост и варовици за циментената промишленост в района на Нови Искър, с.с. Беледие хан, Опицвет, Петърч и гр. Костинброд. Извършвани са и търсецо-проучвателни работи за пясъци за леярски нужди и

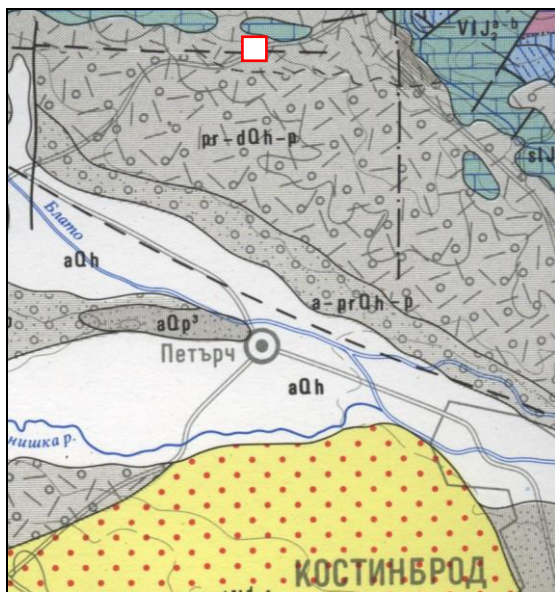
газобетон – между с. Балша и Нови Искър, около с. Гурмазово и др. Сведения могат да се намерят в редица научни публикации (Бончев 1923, 1955, 1970, Атанасов 1949, Йорданова 1982, Каменов 1964, Каменов и Кююмджиева 1983, Стоянов 1981 и др.), както и геофондови материали, (Ангелов и др. 1983, Каменов 1964, Попов и др 1950).

Геоложки строеж на находището

В геоложкия строеж на находище "Лисия" участват седиментите на юрата (Сливнишка свита), плиоцена (Лозенецка свита) и кватернера (фиг. 2).

Сливнишка свита ($slJ_2^c-K_1^v$). Разкрива се в северния и западния борт на находището. Представена е от сиви до сивобели масивни, биокластични, биоконструирани и микритни варовици. В рамките на площ "Лисия" северната границата с плиоценските седименти е рязка, тектонска. Разломът има характер на отсед с пропаднало южно крило. Елементите на повърхността на разлома са 190/70-75°. Амплитудата на пропадане е около 20 метра. Западната граница в рамките на находището е нормална, трансгресивна, като видимата дебелина на свитата надхвърля 45 m.

Лозенецка свита (lN_2^{d-r}). Разкрива се в двете стари кариерни гнезда на находището (фиг. 3).



Фиг. 2. Геоложка карта на Западната част на Софийската котловина (част от националната геоложка карта на България М 1:100 000, картен лист София, Янев и др, 1995); площ на находището

При проучването свитата е подсечена с всички сондажи и е разкрита с канавите и шурфите. Заляга с нормален трансгресивен контакт върху варовиците на Сливнишката свита и се покрива от почвено-делувиален слой с дебелина от 0.6 до 1.2 m. Изградена е предимно от груботеригенни наслаги (пясък, гравий и чакъл), прослоени от алевроити и глини. В западния борт на находището се забелязва постепенно намаляване на мощността на плиоценските седименти.



Фиг. 3. Север-северозападен борт на едно от кариерните гнезда в находището.

Опробване и подготовка на пробите за изследване

При проведените геологопроучвателни работи през 2003 г. са опробвани всички проучвателни изработки – сондажи, канави и шурфи. Опробването е посекционно, като проби са взети от всички интервали с пясъци, гравий и чакъл. Теглото на пробите е между 10-12 kg. Приетата максимална дължина на секцията за опробване е 5 метра, а минималната – 0.4 метра.

Взета е една проба за техноложки изследвания от едно от съществуващите кариерни гнезда, 21 броя единични проби от сондажните изработки и една вертикална браздова проба от масива (поделена на четири отделни проби по секции).

За петрографското описание на късове е взета обединена проба от сондажните изработки, като от всяка проба е взето количество, съответстващо на дължината на пробата (средно уравновесено). Пробата е съкратена до 5 kg чрез квартоване, измита, изсушена и пресята през сита 2.5 и 5.0 mm. За всяка от двете фракции (+2.5-5 mm и +5 mm) са определени макроскопски и групирани по видове късове скали. Макроскопската характеристика е направена по отношение на вида скала, текстурни особености, цвят, степен на промяна, степен на заобленост и изометричност на късове.

Характеристика на пясъците и баластрата

Находището е изградено от глини, алевроити, пясъци и грубозърнести наслаги. Последните се състоят от различни съотношения на пясък, гравий и чакъл, обозначавани накратко като баластра.

Макроскопски пясъците и баластрата са белезникави, светложълти до жълтокафяви, в отделни интервали тъмнокафяви. Всички тези нюанси в цветовете на полезното изкопаемо прехождат постепенно и плавно латерално един в друг и не е възможно да се постави рязка граница между тях.

Пясъците и баластрата са рахли, слабо споеени или почти неспоеени, но въпреки това в съществуващите кариерните

гнезда държат почти вертикален откос. Пясъците са предимно дребно- до финозърнести, но почти винаги имат и малки количества от гравий и чакъл и се състоят се почти изцяло от кварц. В масива се срещат отделни пластове, състоящи се почти изцяло от пясък. Дебелината им е от 0,4 до около 2 m. В двете стари кариерни гнезда се оформя сравнително добре издържан хоризонт от пясъци. Баластрата е представена от пясък, гравий и чакъл в различни съотношения. Общо за гравия и чакъла е високата степен на разнородност по отношение на степента на заобленост и изометричност. Срещат се от ръбести (паралелопипедни) до почти изометрично овални зърна. Високата степен на заобленост на зърната много често е съчетана с ниска изометричност – плоски и удължени зърна. Независимо от това, по отношение на показателя изометричност преобладават зърната с отношение на най-късата към най-дългата ос от 1:1 до 1:2 (85-90%). За останалия процент от изследваните късове отношението на осите не надхвърля 1:3.5.

Във фракция +2.5-5 mm преобладават кварцовите късове и зърна (около 75-80%). По-малките по размери късове са по-добре заоблени и по-изометрични. Цветът им варира от млечнобял, сивобял до жълт – жълтокафяв. Фракция +5 mm е по-разнородна като петрографски състав на късовете, но отново преобладават кварцовите късове (до 55-60% от фракцията), които са и с най-висока степен на заобленост. Като цвят и степен на изометричност те почти не се различават от същите във фракция фракция +2.5-5 mm. До около 10% е количествено присъствие на късове от варовици. Те са сиви до сивобели на цвят, с ниска степен на изветряне. Обикновено късовете са с много ниска степен на заобленост - само ръбовете са им изгладени. Преобладават линейно издължените и плочести късове. Равностойно на количеството на варовиците е и това на късове от пегматити и аплити. Късовете от пегматити са нехомогенни и с най-висока степен на натрошеност в сравнение с останалите скални разновидности. Характеризират се с неравномерно разпределение на едрокристални фелдшпатови агрегати и впръследи от рудни минерали - илменит, магнетит. Аплитовите късове са добре заоблени, но в по-голямата си част също са силно натрошени. На следващо място по количествено и почти равностойно участие (до 2-3%) са плочести, дискообразни късове от черни, сиви, червени девонски и силурски шисти, късове от карбонски пясъчници и гравелити, късове от слабо изветрели, жълто до жълтокафяви кварцити и силно изветрели (лесно разпадащи при натиск) ситнозърнести, сивозелени агрегати от вулкански скали. Освен това, сред късовете от силурски шисти нерядко се набелязват и фрагменти от млечнобели, сивобели кварцови жили.

На различни нива сред полезното изкопаемо се явяват прослойки (лещи) от алевроити и/или глини – кафяви до зеленикави или пъстри, плътни, алевроитови до пясъкливи. Самостоятелните пластове са разположени на различни нива и са сравнително маломощни. Дебелината им се изменя от 0 до 1.5 m.

Кватернер. Представен е от почвено-делувиална покривка, от характерните за Софийското поле черни

глинести “смолници”, богати на органично вещество, които в рамките на находището като правило са пясъчливи. В дълбочина преходят постепенно в кафяви пясъчливи глини, глинести пясъци или баластра с глина, които с постепенен преход преминават в плиоценските теригенни наслаги. Дебелината на кватернерните отложения се изменя от 0.40 до 1.2 m.

Фациален анализ

Наблюденията и документацията на съществуващите стари кариерни гнезда в находището, данните от проведените проучвателни работи и резултатите от лабораторните анализи са база за фациален анализ. Разграничени са алувиални, езерни и блатни фацисии.

В находище Лисия са установени три нива в Лезенецката свита: 1 – начало на груботеригенна седиментация; 2 – междинен период с отлагане на вътрешнобасейнови наслаги и 3 – край на седиментацията с частично заблътване в северните прибрежни части на находището. Трябва да се отбележи, че тези темпорални нива са твърде хипотетично обосновани на базата на палеогеографското развитие на фациалните обстановки.

Фациални обстановки в началото на груботеригенна седиментация

В основата на Лезенецката свита има само алувиални седименти – пясъчливи конгломерати (фиг. 4).

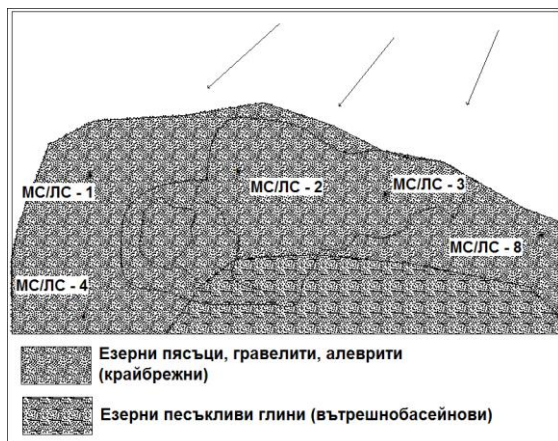


Фиг. 4. Фациална карта в началото на седиментацията

Конгломератите са, рахли, пясъчливо-гравийни до глинесто-пясъчливи с големи късове от варовиците на подложката. Теригенните компоненти са били отлагани по механичен начин в континентални условия. Долната граница е ясна, с ъглов дискорданс.

Фациални обстановки в междинния период с отлагане на вътрешнобасейнови наслаги

Трансгресивните тенденции в находището създават условия за образуване и съвместяване на алувиални и езерни палеогеографски обстановки. Алувиалните фацисии заемат западната и северна окрайна част на находището като наследяват южната посока (фиг. 5).



Фиг. 5. Фациална карта в междинния период на седиментация

Те са представени от пясъчливи чакъли с лоша сортировка и слабо изразена коса слоистост. На юг и изток от тях седиментацията протича в езерна обстановка, в която става отлагане на добре сортирани крайбрежни пясъци. Тези пясъци са полезно изкопаемо в находището. Те се редуват с гравийни и чакълни пясъци с хоризонтална слоистост (фиг. 6). Пясъците са предимно сивобели, светложълти до жълтокафяви, дребно до финозърнести, предимно кварцови. Текстурата им е главно хоризонтална, рядко наклонена косо слоеста. В централната и северна част на находището често се наблюдава редуване на пясъчни слоеве с дебелина до 3-4 m и слоеве с преобладаване на гравия и чакъла и дебелина като правило около 40 cm. Пясъците са отложени в крайбрежна езерна обстановка, а при грубокъсовите слоеве доминираща е алувиалната обстановка. Локално се наблюдава имбрикация от покровен тип с посока 210° и наклон 40°. Не се наблюдава едно издържано ниво с грубокъсови седименти. Те се срещат повсеместно в находището. Реката, която е транспортирала и отложила тези седименти е била сравнително малка и е променяла руслото си в рамките на находището.



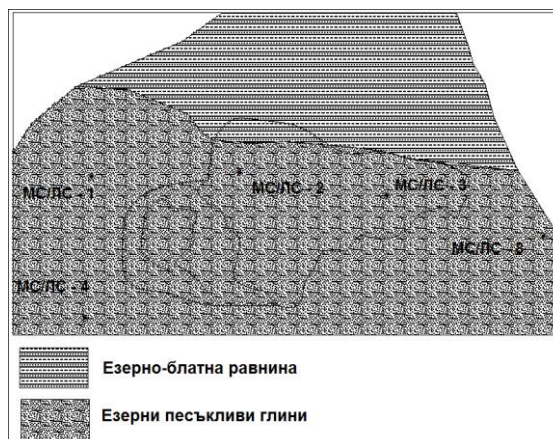
Фиг. 6. Югоизточен борт на голямото кариерно гнездо

Латерално в най-южната част на находището пясъците преходят в езерни пясъчливи тънкослойни глини. Текстурата им е хоризонтална и тънкослойна.

Фациални обстановки в края на седиментацията

Тектонската активност на района затихва. Трансгресията се замества с тенденция на обща регресия и издигане. В

находището се създават условия за образуване и съвместяване на различни фациални обстановки (фиг. 7).



Фиг. 7. Фациална карта в края на седиментацията

В южната част седиментацията протича в езерна обстановка в която става отлагане на пясъчливи глини. Текстурата им е хоризонтална среднослоеста. В най-северната част на находището се отлагат блатни глини с растителен детритус. Текстурата им е хоризонтална и тънкослойна. След прекратяване на седиментацията тектонската дейност в района не е прекратена. Сред пясъците сравнително често се срещат малки разломни нарушения с посока успоредна на ръба на басейна (около 90°), образувани от усилия на разтягане, причинени от гравитачно преместване на седиментите в южна посока (фиг. 6. (затова пропада северното крило – дупката от преместването)).

Промислени сортове пясъци

Отнасянето на пясъците от находище "Лисия" към различни промишлени сортове е извършено въз основа на проведените лабораторни анализи и технологични изпитания на взетите проби. Окачествяването е извършено по отношение на пригодността им за използване в строителството като суровина за сухи строителни смеси и като пясъци формовъчни за изработване на леярски форми и сърца. Окачествяването е на основата на действащи нормативни документи (БДС 4035-90 – Пясъци формовъчни) и резултатите от технологични полупромишлени изпитания по рецептурни състави на фирми, производителки на сухи строителни смеси ("СТРОМ 21" ООД). В находището не се засягат пространствено пластове със суровина, годна само за сухи строителни смеси или само за пясъци за леярството.

Особеност на суровината от находище "Лисия" е, че във всички пластове пясък се срещат, макар и малко количество гравийни и/или чакълни късове, както и във всички пластове с чакъл има пясък, понякога в значителен процент. Суровината не би могла да се използва за посочените приложения директно в непреработен вид. Друга особеност на находището е, че глинесто-алевролитовите пластове са добре издържани, което позволява селективен добив на суровината. В самите пясъци няма глина.

Показателите, по които са оценявани пясъците за сухи строителни смеси са: зърнометрия (фракция +0.1 – 0.63), съдържание на железни оксиди (не повече от 1%), съдържание на силициев диоксид (над 90%), липса на бучки глина, съдържание на зърна от минерали с аморфна и нестабилна форма на силициев диоксид, (под 50 mmol/dm³).

Показателите, по които са оценявани пясъците за леярство са: зърнометрия, съдържание на железни оксиди, съдържание на силициев диоксид, оксиди на алкални и алкалоземни метали, сулфатна сяра, липса на бучки глина.

Обстоятелството, че пясъците са седиментирани в брежневна зона на сравнително голямо езеро, е причина за образуването на издържани пластове с добре сортиран и ситнозърнест пясък.

Изследвани са химичния състав на 7 броя и технологичните свойства на 27 броя представителни проби от (в това число на обединени проби и на технологичната проба).

Всички изследвани проби от пясъците в находище "Лисия" съответстват на изискваните за ползване като сухи строителни смеси и пясъци леярски (пясъци смесени (ПС) или пясък глинест (ПГ).

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ

Изводи

На основата на наблюденията и документацията на съществуващите стари кариерни гнезда в находището, данните от проведените проучвателни работи и резултатите от лабораторните анализи е проведен фациален анализ, като са разграничени алувиални, езерни и блатни фации.

Въз основа на проведените лабораторни изследвания и технологични изпитания пясъците са оценени за две отделни приложения – за производство на сухи строителни смеси и пясъци формовъчни:

Литература

- Атанасов, Г. 1949. Доклад върху геологията на Софийска Стара планина. Геофонд КГМР (IV – 33).
- Каменов, Б. 1964. Доклад върху геологията на Софийския терциерен басейн, с оглед на лигнитните възлища. Геофонд КГМР (II – 4).
- Стоянов, И., С. Христов и др. 1976. Доклад върху геологията на Любашката верига и Западното Средногорие между градовете Трън и Сливница. Геофонд КГМР (V – 200).
- Янев Сл. и колектив. 1995. Обяснителна записка към геоложката карта на България, М 1:100000, картен лист "София", КГМР, "геология и геофизика" АД, С.

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА УПОТРЕБА НА КАОЛИН-КВАРЦОВИТЕ ПЯСЪЦИ ОТ НАХОДИЩЕ "КОЛОБЪР", СИЛИСТРЕНСКА ОБЛАСТ

Петър И. Петров

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

РЕЗЮМЕ. Находището на каолин-кварцови пясъци "Колобър" е част от Дуловското минерагенно поле на Лудогорския минерагенен район в България. То е локализирано в негативен карст покрит от лъсов геоконплекс. Обикновено негативният карст е най-добре изразен в централната част на полето, а в периферните си части той се разпада на множество малки и плитки понижения. В него има резидуален комплекс представен от каолин-кварцови пясъци. Подчинена роля в резидуалния комплекс играят: глините, глинестите пясъци и алевроитните пясъци. Каолин-кварцовите пясъци имат еднородна, петниста, ивичеста или слоиста текстура. Структурата им е главно алевро-пелитно-псамитна. Чрез обогатяване/промиване/ от полезното изкопаемо могат да се получат два продукта: каолин и кварцови пясъци. Каолинът може да се използва в хартиената, каучуковата, пластмасовата, порцелан-фаянсовата и огнеупорната промишленост. Кварцовите пясъци ще намерят приложение за стъкло и порцелан-фаянс.

THE KAOLIN-QUARTZ SAND OF THE KOLOBAR DEPOSIT, SILISTRA DISTRICT – OPPORTUNITIES FOR USE

Peter I. Petrov

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

ABSTRACT. The Kolobar deposit of kaolin-quartz sands is in the Dulovo mineragenic field of the Ludogorie mineragenic region in Bulgaria. It is located in negative karst, covered with loess geocomplex. Usually the negative karst is expressed in the best way in the central part of the field, but it is disintegrated in many small and shallow drops in the peripheral parts. There is a residual complex in it that is performed by kaolin-quartz sands. Clays, clay sands and aleurite sands have some subordinate part. The kaolin-quartz sands have homogeneous, spotted, striped or stratified texture. Their structure is mainly pelite-psamital. The kaolin may be obtained through enrichment (washing) of kaolin-quartz sands. It is appears to be the resource ground for developing of some major industries of the economy – paper, porcelain-faience, refractory, chemical, etc. The quartz sands will be find application in the production of glass and porcelain-faience.

Въведение

Днешният пазар на каолин се поддържа от стабилното търсене в традиционните хартиено и керамично производство. Хартиената промишленост регистрира повишена консумация на покриващи, пълнители и калцинирани марки глини, което е свързано с повишаване на капацитета за добив на хартия.

България е една от традиционните износители на каолин. През последните години въпреки спада на производство тя заема полагащото и се място сред главните производители (Harben, 2002) на тази суровина заемаща места в две групи на първо ниво: в тази на керамичното производство и на химическата промишленост (Virta, Lorenz and Requeiro, 1994). Каолинът за меловане на хартия диктува световното му производство (Moore, 2003). Българският каолин се получава при промиване на каолин-кварцови пясъци от находищата в Североизточна България - Лудогорския минерагенен район (Petrov, 1994; Петров, 1994; Petrov, Parvanov, 1994; Petrov, Georgieva, 1995; Петров, Георгиева, 1997; Петров, 1999).

Находище „Колобър“ е проучено детайлно като са изчислени запаси за порцелан-фаянс и огнеупори (Йовчев,

1978; Йовчев и др., 1994). Каолинът има качествени показатели, които позволяват да се употребява за хартия, домакински порцелан и други. Цената на каолина за меловане достига до 185 \$/t (*Industrial Minerals*, 2007).

Строеж и морфология на находището

Находището на каолин-кварцови пясъци "Колобър" се намира в Дуловското минерагенно поле на Лудогорския минерагенен район. То е част от пясъчно-каолиновата задруга и е локализирано в палеокарстен участък "Колобър" (Кръстев, Кръстева, 2003) покрит от лъс. Орографски районът принадлежи към Лудогорско-Добруджанската хълмисто-платовидна подобласт на Дунавската равнина. Обликът на релефа се определя главно от Лудогорско-Добруджанското плато, което постепенно се понижава от юг на север и от запад на изток. Релефът е два типа: разчленен платовиден и разчленен равнинен. Теренът на площта е сравнително монолитен, без типичните за съседни райони каньоновидни врязвания в релефа. Има общ наклон от запад на изток.

В геоложкия разрез на находище "Колобър" отдолу нагоре има варовици, глини, глинести пясъци, каолин-

кварцови и алевроитни пясъци, и кватернетни седименти – льос, глини и чакъл. Подложката е от силно окарстени и излужени баремски порцелановидни варовици на Русенската свита. В изграждането на Русенската свита участват здрави, масивни, светлокафяви до бели на цвят, порцеланови и порцелановидни варовици, оолитни варовици, тебешироподобни и дебелопластови органогенни варовици. Последните са изградени от прекристализирали корали, бриозои и реквиени и други организмови останки. В повечето случаи варовиците са напукани и кавернозни с отложен по пукнатините калцит.

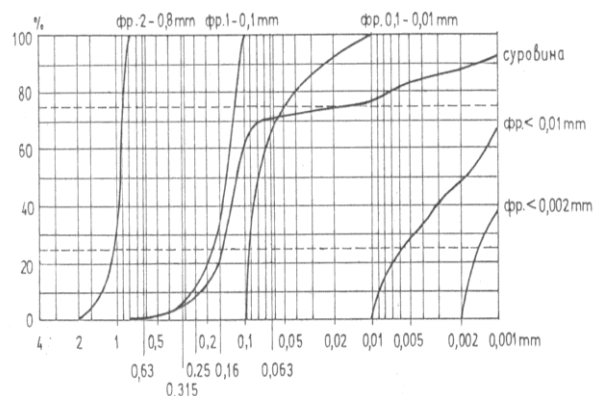
Палеокарстът е ориентиран в направление изток-запад и представляват система от свързани понижения. Дълбочината им многократно се променя и локално достига 127 m. Обикновено негативният карст е най-добре изразен в централната част на полетата, а в периферните си части той се разпада на множество малки и плитки понижения. В него има резидуален комплекс представен от каолин-кварцови пясъци. Подчинена роля в резидуалния комплекс играят: глините, глинестите пясъци и алевроитните пясъци. Глините и глинестите пясъци са подложка и обвивка на каолин-кварцовите пясъци, която ги отделя от неравната повърхност на долнокредните варовици. В находището има 4 промишлени гнезда. Първото има площ 20 000 m², средна дебелина на полезното изкопаемо – 33 m и средна откривка 31 m. Второто има площ 265 000 m², средна дебелина на полезното изкопаемо – 33 m и средна откривка 38 m. Третото е с площ 327 000 m², средна дебелина на полезното изкопаемо – 22 m и средна откривка 41 m. Четвъртото гнездо има площ 176 000 m², средна дебелина на полезното изкопаемо – 27 m и средна откривка 43 m.

Качествена характеристика, минерален и веществен състав на суровината

Суровината съставя 58% от глинесто пясъчливата формация. Каолин-кварцовите пясъци образуват залежи с много сложна морфология, вместени сред оцветени каолинови пясъци и по-рядко всред слабо каолинови пясъци и каолинови глини. Тяхната зърнометрия най-добре се демонстрира с кумулативни криви (фиг. 1). Суровината има лоша сортировка и медиана 0.1 до 0.16 mm. Фракцията 1-0.1 mm (кварцовия пясък) е много добре сортирана с медиана около 0.15 mm. Касае се за дребнозърнести пясъци, подходящи предимно за производство на стъкло. Фракцията под 0.01 mm (каолин) е с по-лоша сортировка и медиана около 0.002 mm. Същевременно каолинът с гранулометрия под 0.002 mm е добре сортиран, което е критерий за възможности за получаване на висококачествени сортове за меловане и пълнител на хартия.

Висококачествените сортове обикновено са обгърнати от нискокачествени. В централните части на участъка отгоре надолу се наблюдава зоналност в разпределението на сортовете: огнеупорни сортове, висококачествени порцелано-фаянсови сортове, нискокачествени порцелано-фаянсови сортове и огнеупорни сортове. Суровината е двукомпонентна: кварцови пясъци и каолин.

Промитият каолин се характеризира с висока природна белота, високо съдържание на Al₂O₃, висока огнеупорност и добри керамични свойства с изключение на ниските якостни показатели след сушене.



Фиг. 1. Кумулативни криви на каолин-кварцовите пясъци и техните фракции

Кварцовите пясъци са ситнозърнести, с високо съдържание на силициев двуокис и ниско съдържание на вредни компоненти. Съгласно БДС 1079-77 се отнасят към марка Б. Съгласно БДС 4035-90 пясъците са еднородни. Пълното им означение е 01 ПК 01-85. явяват се ценна суровина за стъкларската промишленост, но за металолеенето и дефицитните за него едри фракции не представляват интерес. Химичния състав на кварцовите пясъци е представен в Таблица 1. От получените кварцови пясъци след промивка и дезинтеграция ще се получават стандартни стъкларски пясъци – марка Б. След дообогатяване на тези пясъци може да се получи стъкларски пясък с ниско съдържание на оцветяващи окиси, подходящ за направа на висококачествено домакинско и кристално стъкло.

Таблица 1

Химичен състав на кварцови пясъци; фр. (1+0.1 mm)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO+K ₂ O
макс.	99.90	2.20	4.30	0.11	1.50
мин.	92.96	0.03	0.01	0.02	0.01
средно	99.48	0.20	0.08	0.04	0.04

Каолин (фракция под 0.01 mm).

Каолинът има бял, бледорозов до кремов цвят. Той има състав (в %): главен минерал – каолинит (76-86), второстепенни – кварц (4-8), илит и мусковит (3-7), специфични – ортоклаз (1-4) и албит (1-2). По степен на кристалинност каолинита, определена по метода на Hinckley (1963), е с индекс на висококристалинните 1.1-1.5.

В находището са застъпени всички сортове каолин, съгласно БДС 951-73. Преобладават сортовете С₁, К₂ и екстра огнеупорен. В отделни площи бялата суровина и по-специално сорт С₁ изгражда лещи с диаметър няколко десетки до стотици митри при значителна дебелина. Същевременно суровината е обгърната от нискосортова и огнеупорна суровина, които особено по фланговете я проследяват.

Таблица 2

Химичен състав на каолин фракция под 0.01 mm

	Наситеност	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	Огнеупорност °C
макс.	73.7	39.9	1.70	21.10	1780
мин.	10.6	28.5	0.31	0.05	1640
средно	21.5	34.8	0.79	0.37	1747

Таблица 3

Белота на каолин (фракция под 0.01 mm)

Белота по Карл Цайс – Йена, %		
	При 110 °C	След печене 1350 °C
максимално	90.5	94.1
минимално	35.5	81.4
средно	82.1	90.7

Таблица 4

Приложни свойства на каолина от находището

Обемна маса, g/cm ³ след изпичане			Хартиена промишленост			
			Белота при 110°, % син филтър Елрефо(R ₄₅₇)	Жълтина %	Абразивност mg	Вискозитет ср.с
960°	1110°	1350°				
1,456	1,599	2,292	80,82	10,57		
			80,69	10,52	32,0	114
			81,61	10,50	4,5	197

Приложената технологична схема за обогатяване доказва, че може да се получи обогатен каолин от следните 3 сорта (латанов и др., 1985; Вачков и др., 1993): K₁ – за приложение в хартиената, каучуковата, пластмасовата и порцелано-фаянсовата промишленост; K₂ – за приложение в огнеупорната промишленост; и K₃ – финнодисперсен каолин за приложение в хартиената промишленост.

Изводи

Въз основа на получените резултати от направените комплексни изследвания на каолин-кварцовите пясъци от находище “Колобър” могат да се направят следните важни изводи:

1. Каолин-кварцовите пясъци са съставени от две субстанции – кварцови пясъци и каолин с преобладаване на първата.
2. Главен минерал в кварцовите пясъци е кварцът. Неговото количество е над 99%.
3. Главен минерал в каолина е каолинит. Второстепенни са кварц, илит и мусковит. Каолинът с гранулометрия под 0,002 mm е добре сортиран, което е критерий за възможности за получаване на висококачествени сортаове за меловане и пълнител на хартия.
4. Кварцовите пясъци са оценени по българските стандарти, като са диференцирани промишлени сортове. Определени са промишлени марки на суровината, които могат да се използват в стъкларската промишленост.

Препоръчана за публикуване от

Катедра “Геология и проучване на полезни изкопаеми”, ГПФ

Литература

- Вачков, И. и др. 1993. Доклад за резултатите от изпълнението на лабораторните изследвания по тема: “Технологична и минералогична характеристика на каолин-кварцовите пясъци в находище Колобър-2. – *Геофонд при КГМР*.
- Златанов, Б. и др. 1985. Отчет по тема: Технологични изследвания за обогатяване на каолиновата суровина от находище “Колобър” – Силистренско.
- Йовчев, М. 1978. Записка за резултатите от проучването на находище на каолинова суровина “Колобър” – 1 участък. *Геофонд при КГМР*.
- Йовчев, М., Т. Трифонов, С. Станев. 1994. Доклад за резултатите от извършените през 1969-1992 година геологопроучвателни работи на находище на кварц-каолинова суровина “Колобър” – 2 участък с изчисляване на запасите по състояние към 01.01.1995 г. – *Геофонд при КГМР*.
- Кръстев, К., Т. Кръстева. 2003. *Палеокарстът и каолиновите находища в Североизточна България*. С., И.К. “Тер АРТ”, 239 с.
- Петров, П. И. 1994. Находища на каолин-кварцови пясъци в североизточна България. – *Год. МГУ*, 40, 1, 115-122.
- Петров, П. И. 1995. Българските каолини – състав и приложение. – *Геология и минерални ресурси*, 3, 26-31.
- Петров, П. И. 1997. Индустриалните минерали – шанс за икономиката на България. – *Втори Българо-югославски минно-геоложки симпозиум*. С., 219-222.
- Петров, П. И. 1997. Индустриални минерали на България. – В: *Геолого-технологическа оценка на индустриалните минерали и породи на Република Карелия и отделни региони на Европейския континент*. Петрозаводск, 25-29.
- Петров, П. И. 1999. Върху методиката на проучване на находищата на каолин-кварцови пясъци в Североизточна България. – *Год. МГУ*, 42, 1, 75-80.
- Петров, П., О. Георгиева. 1997. *Каолините на България*. С., Акад. изд. “Проф. М. Дринов”, 94 с.
- Harben, P. W. 2002. *The Industrial Minerals Handy Book*. 4th Edition. Ind. Min. Inf., Surrey, UK, 409 p.
- Hinckley, D.N. 1963. Variability in crystallinity values among the kaolin deposits of the coastal plain of Georgia and South Carolina. – *Clays Clay Minerals*, 11, 229-235.
- Industrial Minerals*. 2007. IM Prices. June.
- Moore, P. 2003. Kaolin white gold ore white dirt? – *Industrial Minerals*, August, 24-35.
- Petrov, P. I. 1977. The industrial mineral of Bulgaria and opportunities of small-scale business. – *Geol. Mineral Resources*, 1, 4-7.
- Petrov, P. I. 1994. Industrial minerals of Bulgaria: Opportunities and markets. – 11th “Industrial Minerals” Int. Congress. Berlin, 31-37.
- Petrov, P. I. 1997. The residual deposits of kaolin in Northeast Bulgaria. – *Amman. Sec. Jordanian Min. Conf.*, 272-283.
- Petrov, P. I., O. Georgieva. 1995. Problem in prospecting for kaolin-quartz sand deposits in Northeast Bulgaria. Petrozavodsk. – *International Conference*. SMB 95.
- Petrov, P. I., B. Parvanov. 1994. Clay deposits in Bulgaria. Thessaloniki. – *Bull. Geol. Soc. Greece*, 30, 3, 295-300.
- Virta, R., W. Lorenz, M. Requeiro. 1994. Industrial minerals and rocks. Classification of end uses. – *Industrial Minerals*, April, 319, 65-67.

МЕТОДИКА НА ИНФРАЧЕРВЕНАТА СПЕКТРОМЕТРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЕ В ИЗСЛЕДВАНИЯТА НА ХИДРОТЕРМАЛНИТЕ ПРОМЕНИ ВЪВ ВИСОКОСУЛФИДНИ СИСТЕМИ

Мариана Трифонова

БММ ЕАД, София 1000; mariana.kasheva@dpm-group.com

РЕЗЮМЕ. Отражателната спектроскопия е аналитична техника, използваща енергията на вълната във видимия, близкия до видимия и късовълновия инфрачервен диапазон на електромагнитния спектър. Абсорбцията на инфрачервени вълни от определени атоми и молекули е функция на техните атомни структури. Формирания спектрален отговор или отразен спектър се състои от зони на отражение и по-тесни зони на поглъщане, които със своята специфична форма, дълбочина и вълнова позиция са идентифициращ белег на минералните фази. Някои променителни минерали, съдържащи хидроксилна група, сулфатен или карбонатен радикал или вода са особено чувствителни към късовълновата инфрачервена енергия. Всеки тип рудна минерализация се отличава със специфична минерална асоциация в зоните на хидротермална околорудна промяна и затова бързото и точно определение на променителните минерали е съществен момент в проучването особено във високосулфидни епитермални системи. В приложените примери от руден район Бор – Източна Сърбия и рудник Челопеч – Панагюрски Руден район, България е налице високосулфидна златно – медна минерализация и хидротермална промяна, представена от кварц, дикит, каолинит, алунит. Сравнително по-рядко в спектралните криви се установяват по-високотемпературни минерали като пирофилит, диаспор и топаз. Рудните зони с високи съдържания асоциират с кварц-дикитова промяна.

APPLICATION OF THE METHOD OF INFRA-RED SPECTROSCOPY IN THE STUDY OF HYDROTHERMAL ALTERATIONS IN HIGH-SULPHIDE SYSTEMS

Mariana Trifonova

BMM, Sofia 1000; mariana.kasheva@dpm-group.com

ABSTRACT. Reflectance spectroscopy is an analytical technique using the energy in the Visible, Near Infrared and Short Wave Infrared regions of the electromagnetic spectrum. Certain atoms and molecules absorb energy as a function of their atomic structures and form a reflectance spectrum, with absorption features identifying mineral phases. SWIR is particularly sensitive to the many alteration minerals consisting of hydroxyl, sulfate and carbonate radicals and water. Accurate and fast determination of the mineral assemblages assists the alteration- mineralisation type definition and is a very useful tool in mineral exploration particularly in the epithermal high sulphidation environment. In the examples included from Bor area – Eastern Serbia and Chelopech ore deposit, Panaguyrishte ore district high sulphidation mineralization associates with advanced argillic alteration (quartz, dikeite, kaolinite, and alunite). Higher temperature minerals Pyrophyllite, Diaspore and Topaz are less abundant in the spectral mineral data. High grade mineralisation is closely connected with quartz-dikeite alteration assemblage.

Въведение

Рефлекторната инфрачервена спектметрия е аналитична техника, позната и използвана от химици и минералози още в началото на миналия век. До средата 40-те години на XX век приложението и е твърде ограничено – за научни изследвания в областта на минералогията и химията. През 70 -те – 90-те години на миналия век се появяват множество публикации върху теоретични и практически аспекти на инфрачервената спектметрия, създават се спектрални библиотеки въз основа на изследване на глинести минерали в почви и скали създадена е минерална спектрална дата в късовълновия инфрачервен диапазон (SWIR) на спектъра. (Hunt et al., 1971; Clark et al., 1990; Hauff, 1993; по Hauff, 1999).

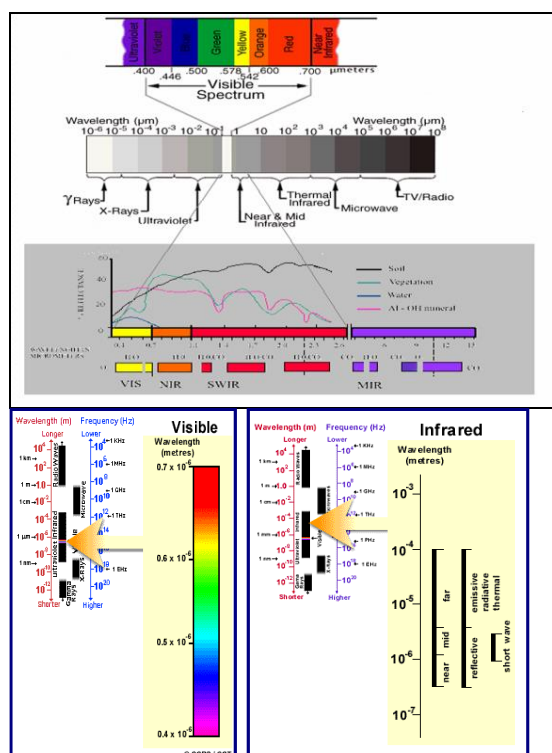
Популяризирането на дистанционните методи на изследване върху сателитни платформи – Landsat TM, ASTER, AVIRIS и др. и все по-успешното им приложение в

геоложкото картиране дава още по-силен тласък в развитието на направлението. Същевременно нараства нуждата от по-прецизни спектрални уреди с по-масова употреба и по-кратък цикъл на събиране и обработка на информация. Така се създават и полевите спектрометри GER – IRIS, ASD – Field Spec Pro и PIMA.

Методика и апаратура за спектрални изследвания с инфрачервена светлина

Техниката на инфрачервената спектметрия използва енергията на отразената вълна във видимия (VIS 400 – 700 nm) и късовълновия инфрачервен (NIR 700 – 1300 nm ; SWIR 1300 – 2500 nm) диапазон на електромагнитния спектър (фиг. 1). Методът е базиран на абсорбционните и отражателни свойства на минералите, като функция на химичните връзки в тях. Спектралната отражателна способност на минералите се обуславя също и от някои физико-химични характеристики на минералните фази,

степен на кристалинност и подреденост на структурите, размер и ориентировка на кристалите, наличие на вода в междуслойните протостранства и др.



Фиг. 1. Диапазони на електромагнитния спектър

Механизми на абсорбция. Енергията на инфрачервената вълна се разпространява в кристалните структури на минералите посредством електронни преходи от различни енергийни нива. Спектралния отговор се формира от абсорбцията на вълни в определена част на спектъра. Няколко електронни процеса обуславят абсорбционните свойства на минералните фази във видимия и късовълновия диапазон на спектъра (Таблица 1).

Таблица 1

Механизми на абсорбция в отделни диапазони на електромагнитния спектър

Диапазон от спектъра	Доминиращ абсорбционен механизъм
VIS (400 – 700nm)	Трансфер на заряди – катионни преходи
VIS/NIR (700 – 1300nm)	Дефекти в кристалната решетка, катионни преходи
SWIR (1300 – 2500nm)	Вибрационни преходи в химичните връзки геометрия на структурите на катиони координирани с OH, SO ₄ , CO ₃

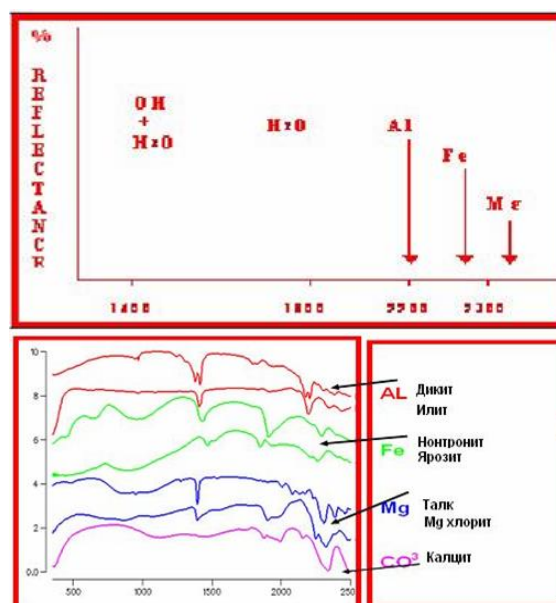
Доминиращия механизъм на абсорбция в късовълновия инфрачервен диапазон на спектъра (SWIR) са вибрационните процеси. Те са функция на химичния състав на минералите. Вибрационните състояния на различни енергетични нива и абсорбцията се проявяват при определени вълнови позиции (Табл. 2, фиг. 2)

Таблица 2

Основни абсорбционни характеристики

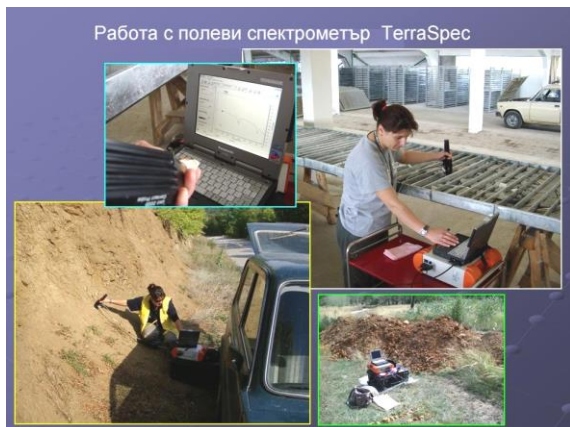
Вълнова позиция	Абсорбционен механизъм	Минерална група
~ 1.4 μm	OH и вода	Глинести минерали, сулфати, хидроксили, зеолити, алумосиликати
~ 1.56 μm	NH ₄	NH ₄ – съединения
~ 1.8 μm	OH	Сулфати
~ 1.9 μm	Molecular water	Смектити, зеолити
~ 2.02 – 2.12 μm	NH ₄	NH ₄ – съединения
~ 2.2 μm	AL - OH	Алуминий съдържащи глини, сулфати, Al-слюди, Al- силикати
~ 2.3 μm	CO ₃ ²⁻ , Fe - OH, Mg - OH	Карбонати, амфиболи, хлорити

Всеки минерал, активен и детектуем във видимия и късовълновия инфрачервен диапазон притежава специфично съчетание от спектрални характеристики, комбинирани в уникален за минерала отразен спектър. Зоните на абсорбция, проявени като минимуми в спектралната крива притежават диагностични честота или вълнова дължина и ширина, измерена като разстояние между две инфлексни точки. Тези параметри се обуславят от йонните радиуси на елементите, които предопределят дължините на химичните връзки молекулите изграждащи съединението (минерала). Всяка химична връзка вибрира в специфично енергийно ниво, което се проектира в спектралния отговор в определена вълнова позиция.



Фиг. 2. Основни вълнови позиции (в нанометри) на някои катиони, детектуеми в SWIR при свързването им с вода, карбонати и хидроксилни групи и спектрални криви на някои от най-честите минерали

SWIR спектметрия е особено чувствителна към структурите на глинестите минерали, съдържащи молекулярна вода и хидроксил в координация с алуминиеви катиони, а така също и към някои други минерали и групи, съставени от карбонатни и сулфатни радикали. Такива минерали са често асоциирани с процесите на хидротермални промени – карбонати, ярозит, алунит, пиропилит, хлорити и др. Това прави метода особено ценен в проучвателните дейности при картиране на хидротермални промени и определяне на типове минерализация.



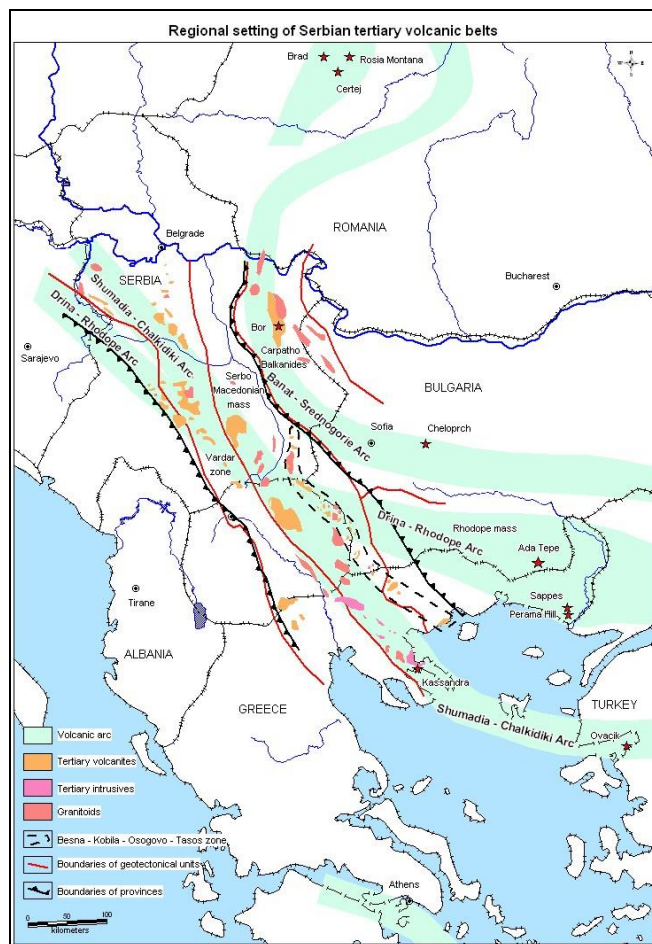
Фиг. 3. Работа с полеви спектрометър TerraSpec™

Спектралните изследвания се извършват с полеви спектрометър Terra Spec™ (фиг. 3), произведен от американската компания ASD. Уредът работи в диапазона на видимите и инфрачервени лъчи, описан по-горе. Снабден е с три детектора: за видимия и близкия до видимия инфрачервен диапазон (VNIR: 350-1050 nm); и два детектора за късовълновия инфрачервен диапазон. (SWIR1: 900-1850 nm; SWIR2: 1700-2500 nm). Апаратурата включва генератор на лъчение, лампа за директно облъчване на обекта, свързана с фиброоптичен кабел към сензорите и компютър със софтуер за директно възпроизвеждане на спектралния запис във вид на крива. Фиброоптичния кабел провежда светлинната енергия към обекта на опробване и връща отразения сигнал, който се проектира върху холографска дифракционна решетка, като се разбива на отделни вълнови компоненти или канали. Последните се насочват към сензорите, които отчитат каква част от енергията е преминала през пробата, погълната или отразена и композират спектралната крива.

Спектрални изследвания в района на гр. Бор, Източна Сърбия

Зоните на хидротермална промяна и минерализация в района на Бор, Източна Сърбия са тясно привързани към вулкански тела и структури от Тимокия магматогенен комплекс (Karamata, Knežević – Djordjević, Milovanović, 2002). Той е част от регионалната Банат-Средногорска металогенна зона (фиг. 4). Произхода му се свързва със субдукция на океанска литосфера в западната част на Вардарския океан. Изграден е от вулкански и субвулкански скали, продукт на двуфазно проявена магмена дейност:

андезити и андезит – дацит порфирити от първата магматогенна фаза (турон – кониас) и амфибол – пироксенови андезитобазалти и монзонит – диоритови интрузиви от втората фаза на магмена дейност, проявена през маастрихт – кампан.

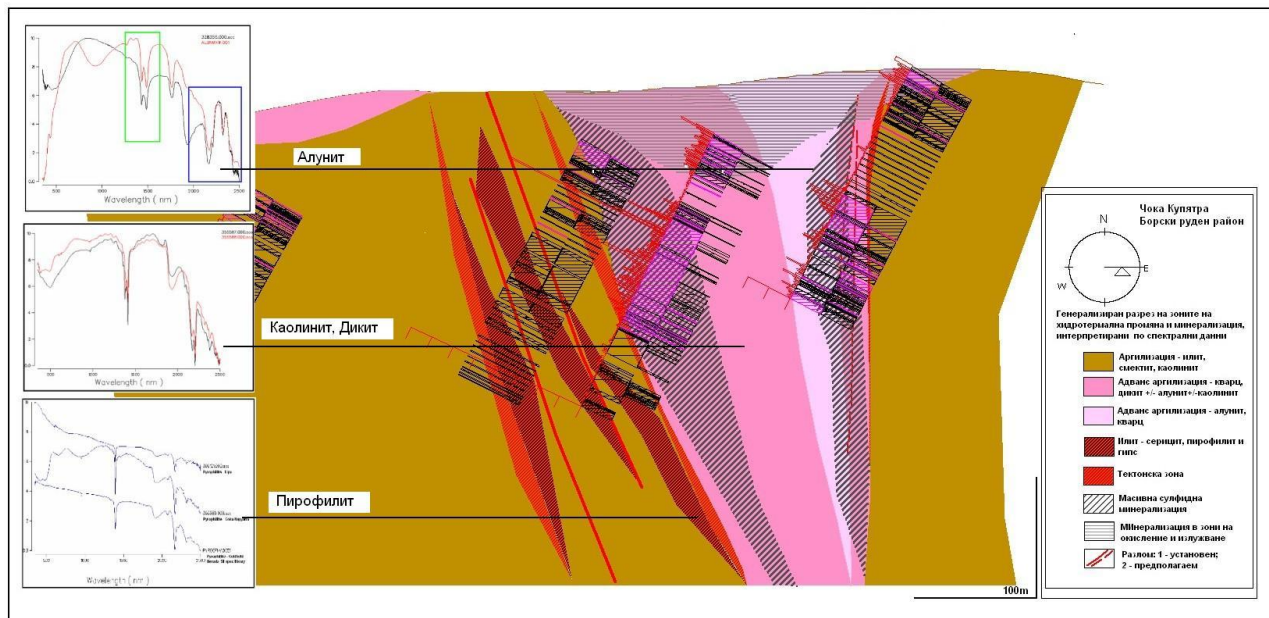


Фиг. 4. Металогенна карта на част от ЮИ Европа – България и Сърбия

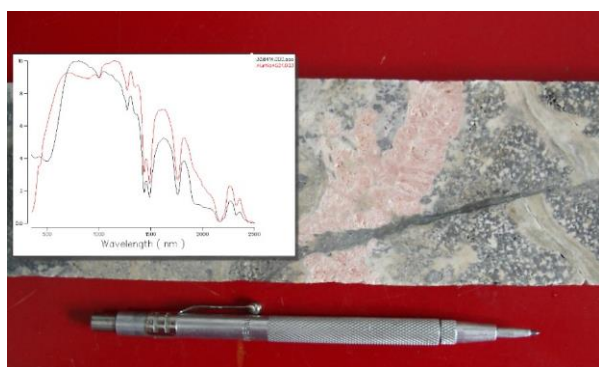
Андезитовите скали изграждат стратовулкани и големи маси от вулканокластичен материал и са повсеместно и интензивно засегнати от хидротермални промени (фиг. 5). В тясна връзка с тези процеси е и наличието на високосулфидна минерализация, вменена предимно във вулканските канали.

В централните части на вулканските структури се оформят стръмни и тесни зони на брекчиране с алунит – кварцова метасоматоза, като в дълбочина и в латерално направление минералната асоциация се допълва от дикит, каолинит, пиропилит, диаспор, топаз и др.

Алунит, установен по спектрален път е широко застъпен както в повърхностни разкрития в рамките на зоните на киселинно излужване ("кварцови шапки"), така и в дълбочина до 450 m, в стръмни зони на хидротермално брекчиране (по сондажни данни) (фиг. 6).



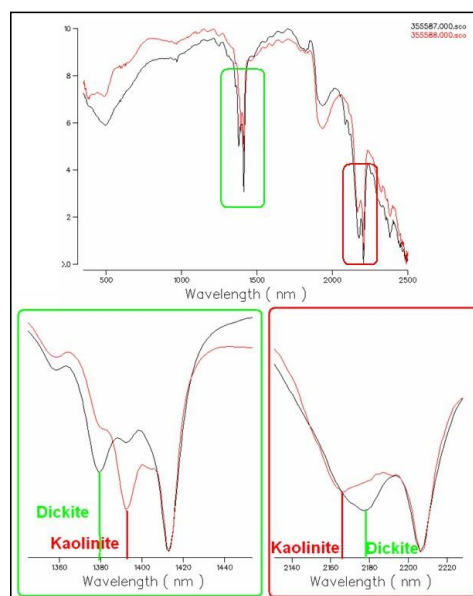
Фиг. 5. Генерализиран разрез на зоните на хидротермална промяна и минерализация, интерпретирани по спектрални данни, района на вр. Чока Купятра, Борска рудна зона



Фиг. 6. Едрикристален алунит в жила – вр.Чока Коруга, Борски руден район

По някои специфични детайли в спектрите на алунит от района на Бор (позиция на дублетите в 1400 nm вълнови диапазон; наличие на абсорбции в 2400 nm; форма на минимумите при 2200 nm дължина на вълната) може да се предположи че състава му варира от калиев – до набогатен на натрий, без да доминира някой от двата компонента, което от своя страна е индикация за произхода му като резултат от смесване на метеорни води и магматогенни флуиди (Hauff, 2003).

Масов минерал, детектиран в спектрите от района на Бор е дикитът. Спектралните му криви са с ясно изразени, дълбоки и тесни зони на абсорбция, които свидетелстват за висока степен на кристалинност и подреденост на структурата, резултат от кристализация във високотемпературен режим. Това е и принципната разлика между дикита и каолинита (фиг. 7), последния е по-нискотемпературен представител на каолиновата група, в спектрално отношение продуцира по-неясни спектрални криви а в хидротермалния зонален модел оформя под-дистални зони или супергенно наложени промени.



Фиг. 7. Спектрални криви на дикит и каолинит. Двойни абсорбционни форми, проявени при дължини на вълни 1380 и 2178 nm за дикит и 1394 и 2165 nm за каолинит

Масивна сулфидна минерализация често с промишлено значение (Бор) е асоциирана с дикитовите интервали от аргилизовата зона. В латерално направление минералната асоциация се променя към илит – смектит и каолинит, което е и своеобразен индикатор за понижаване на температурния режим и киселинността на средата с отдалечаване от хидротермалния източник. Много често двете аргилизови зони се отделят чрез разломни системи, по които вероятно са се извършвали значителни придвижвания (вертикални и хоризонтални).

При спектралните изследвания в района западно от гр. Бор (вр. Чока Купятра, Чока Коруга) се установява специфична промяна по андезити, маркирана от появата на пиррофилит +/- серицит +/- гипс, като се запазва първичната порфирна текстура на скалата. Този тип промяна е лимитиран от разломни нарушения със стръмно западане. Такава минерална асоциация се интерпретира

като формирана в дълбочинна обстановка при високи температури ($<300^{\circ}\text{C}$) и при възходящо движение и охлаждане на магматогенен флуид (Hemley, 1969; Sverievski et al., 1991, по Hedenquist et al. 1998). В цялостната концепция на хидротермалните системи този тип промяна е дефиниран като интермедиална аргилизация, маркираща прехода от епитермална към порфирна среда (Hedenquist et al., 2000)

Спектрални изследвания на зони на хидротермална промяна от р-к Чelopeч, България

Находище Чelopeч се намира в северната част на Панагюрския руден район, част от Банат – Средногорската металогенна зона (фиг. 4). Определено е като епитермално вискокулфиден тип находище (Strashimirov et al., 2002), вместило в субвулкански андезитиви туфи и туфобрекчи. Вместващите скали са датирани по циркони с $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ изотопи и е определена възраст от 91.45 ± 0.15 Ma (Chambefort et al., 2007), която се приема за максимална възраст на минерализацията.

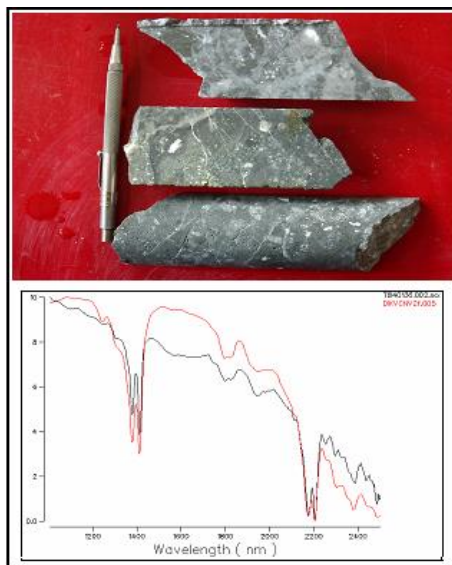
Типичните за високосулфидните системи стилове и типове хидротермална промяна са застъпени в находището: прогресивна аргилизация – вторични кварцити с алунит, дикит, каолинит, асоцииращи с рудните тела и кварц – серицитова към пропилитова промяна в периферните участъци.

Спектрални изследвания са проведени и в двете рудни тела (централно и западно), на нива 330-260 m от подземните изработки, както и на образци от сондажна ядка.

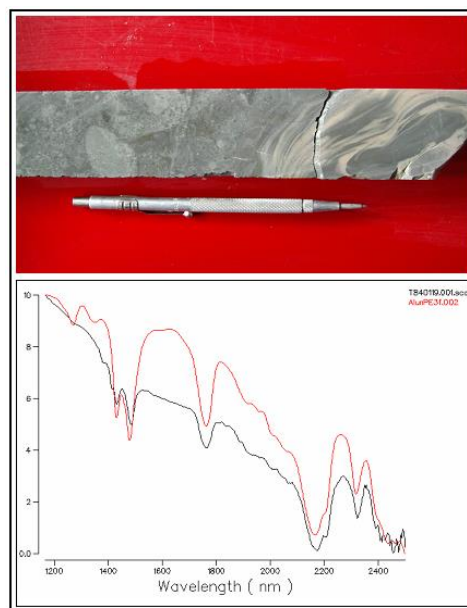
Най-честият минерал, установен в спектрите е дикитът. Той се явява като заместване по порфири в андезитите, частично или пълно заместване на късове в кластичните разновидности, запълващ празнини на излужване или порови пространства, а също така и като жилки или налели по пукнатини (фиг. 8). Дори и в малки количества в пробите, той е лесно детектуем поради силния спектрален отговор и ясно изразените двойни абсорбционни зони (дублети) при дължини на вълната 1380 и 2175 nm.

Сулфидната минерализация във вид на впръснат и масивен пирит или пирит – енаргитови жилки е тясно привързана именно към интервалите с преобладаване на дикит и кварц.

Сравнително по-ограничено е разпространението на алунита. Засега той е установен като зона в само в западното рудно тяло. Явява се като финни впръслели или финокристален кварц – алунитов матрикс и в единични случаи – като по-едри агрегати или жилки, но в асоциация с кварц. Придава леко розов оттенък на скалата, но е сравнително труден за макроскопско наблюдение. Спектралното му разпознаване обаче е твърде лесно, тъй като има силно изразени абсорбционни свойства и характерна спектрална крива (фиг. 9).



Фиг. 8. Дикит, заместващ порфири класти и като секущи жилки във високоминерализирана зона в западното рудно тяло на нах. Чelopeч.

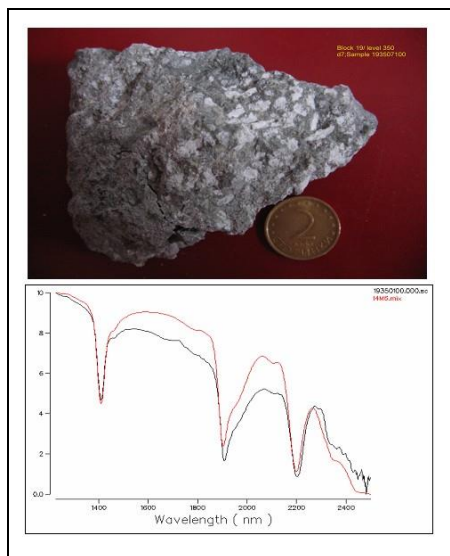


Фиг. 9. Финокристален алунит – кварцов матрикс с ламинирана текстура и спектр на пробата, сравнен с крива на алунит (100%) от спектралната библиотека

Абсорбцията при дължина на вълна 1400 nm е твърде специфична за алунитовите спектри. Проявява се под формата на дублет, като позицията на втория минимум се използва за относително разграничаване на калиевите и натриевите разновидности. Абсорбция между 1478 – 1486 nm е характерна за калиевите алунити, а над 1486 – до 1495+ nm – за натриевите. Наличието на два малки, но ясно изразени минимума в диапазона 2430-2470 nm са индикация също за калий доминиран състав. За съжаление обаче тези абсорбции не винаги са ясно изразени, поради появата на шум в края на резолюцията на спектрометъра. Анализирайки тези детайли от спектрите на алунит от нах.Чelopeч можем да съдим за преобладаващо калиев състав, което според Nauff (2003) е указание за предимно магматогенния му произход. Алунит-кварцитовите зони асоциират с минерализация, но с относително по-ниски съдържания на злато и мед, в сравнение с минерализацията от кварц-дикитовите зони.

В централното рудно тяло се наблюдава тенденция на заместване на дикита от каолинит и халоазит – понискотемпературните членове на каолиновата група глинести минерали и слабо изразена зоналност в северозапад – югоизточно направление от каолинит-дикит-пирофилит. Пирофилит е определен в единични спектри, но появата му в асоциация с дикит и кварц е указание за повишаване на температурния режим и удълбочаване на средата при ниски стойности на pH.

Извън зоните на кварцова метасоматоза и прогресивна аргилизация, най-честият минерал, детектиран по спектрален път е илитът и илит-смектитовите смесенослойни глини (фиг. 10).



Фиг. 10. Илит-смектит по плагиоклазови порфири в пропититизирани андезити и спектрална крива на пробата, сравнена с компютърно генерирана микстура Смектит 60/Илит 40

Илитът е разпространен в обширни зони на повсеместна кварц-серицитова промяна с фино впръсната пиритизация. Проследяването на илитовата структура със смектотопови слоеве или OH-групи се отразява на спектралната крива, като заглажда абсорбционните форми и намалява степента на подреденост на структурата. Такива спектри продуцират илитите от външните пропититови зони или стрити и глинясали материали от тектонски зони. Последните обаче са твърде шумни и деформирани поради силния матрикс ефект и разпръскване на сигнала.

Минералната асоциация в спектралната серия от нах. Челопеч се допълва от сулфати – най-често гипс и ярозит, като късни фази на хидротермална промяна и окисление на сулфиди и рядко – крабонати като жилна фаза в дисталните пропититови зони.

Заклучение и дискусия

Приложението на инфрачервената спектрометрия и използването на преносими спектрални уреди е безспорно

предимство в картирането на хидротермални промени, свързани с високосулфиден тип минерализация. Бързото идентифициране в реално време на глинести минерали и някои сулфати с дискретна проява е от изключително важно значение за установяване на физикохимични параметри на средата (температура, дълбочина, киселинност, соленост, степен на окисление и др.), детерминиращи съответен тип минерализация и съответно ниво в хидротермалната система. Методът обаче все още има някои недостатъци, които затрудняват в известна степен геоложката интерпретация на получената спектрална дата и нейното коректно пространствено и обемно моделиране:

- ✓ Качествена информация – установява присъствието на даден минерал, но не и неговото количество; Особено важно в композитни спектри (микстури);
- ✓ Идентифицират се тези минерали, които са с най-силен спектрален отговор;
- ✓ Точността в идентификацията на спектрално активните минерали се ограничава в рамките на спектралните библиотеки, заложили в оперативния софтуер;
- ✓ Дискретно измерване, ограничено в сканиращото поле на лампата. Компенсира се с по-голям брой измервания.

ЛИТЕРАТУРА

- Chambefort, I., Moritz, R., von Quadt, A. 2007. Petrology, geochemistry and U-Pb geochronology of magmatic rocks from the high-sulfidation epithermal Au-Cu Chelopech deposit, Srednogie zone, Bulgaria. – *Mineralium Deposita (e-version)*.
- Hauff, L. P., A. Thompson, A. J. Robytaille. 1999. Alteration Mapping in Exploration: Application of Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy: *SEGG Newsletter*, 39.
- Hauff, L. P., 2003. *Applied Reflectance Spectroscopy. Chapter 3*, p. 15.
- Hedenquist, J. W., J. R. Arribas, J. Reynolds. 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast – Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au Deposits, Philippines. – *Economic Geology and Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 93, 4.
- Hedenquist, J. W., J. R. Arribas, E. Gonzales-Urien. 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. – *SEG Reviews*, 13, 245-277.
- Karamata, S., V. Knejevic-Djordevic, D. Milovanovic. 2002. A Review of the evolution of Upper Cretaceous – Paleogene magmatism in the Timok Magmatic Complex and the associated mineralisation. – *Geology and Metallogeny of Copper and gold deposits in the Bor metallogenic zone. Reports*, 15-29.
- Strashimirov, S., R. Petrunov, M. Kanazirski. 2002. Porphyry copper mineralization in the Central Srednogie zone, Bulgaria. – *Mineralium Deposita*, 37, 6/7, 587-598.

SEDIMENTARY CYCLICITY IN THE ROCKS FROM ISKAR CARBONATE GROUP FROM THE WESTERN STARA PLANINA AREA – ONE EXAMPLE FROM THE SECTION NEAR RAVNA VILLAGE, MONTANA DISTRICT, BULGARIA

George Ajdanlijsky

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

ABSTRACT. Despite that among the characteristic features of the part of the carbonate rocks from the lowermost part of the Iskar Carbonate Group in the area of Western Stara Planina Mountain, is the displaying of sedimentary cyclicity from different orders, till now specialized characteristic of this cyclicity have been made just in the area of Iskar Gorge. The wide distribution of these rocks in this area, from one hand, and the possibility the study of this aspect to be applied towards the development of detailer and reliable cyclostratigraphical subdivision and the application of this subdivision in the development of the high-resolution correlation scheme, from the other hand, make the study of the sedimentary cyclicity in the rocks from the lower part of the Group especially actual. The established sedimentary cycles are with thickness from 1.5 to over 10 m, with clear peak in the interval from 4 to 6 m. Despite of some variations in their structure, the bottom of the cycles is dominated by mainly allochemic (clastic, oolitic) limestones, in some places with cross-bedded structure, while mainly in their upper part are established the development of dolomitic limestones and pore dolomites, not infrequently with spotty and flame structure. The analysis of the obtained data permit the interpretation of these cyclicity as Milankovich-type one.

СЕДИМЕНТНА ЦИКЛИЧНОСТ В СКАЛИ ОТ ИСКЪРСКАТА КАРБОНАТНА ГРУПА ОТ РАЙОНА НА ЗАПАДНА СТАРА ПЛАНИНА – НА ПРИМЕРА НА РАЗРЕЗА ПРИ С. РАВНА, МОНТАНСКО

Георги Айданлийски

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

РЕЗЮМЕ. Въпреки, че сред характерните особености на част от карбонатите скали от най-долната част на Искърска карбонатна група в района на Западна Стара планина е проявата на седиментационна цикличност от различен ранг, специализирана характеристика на тази цикличност досега е правена само в района на Искърския пролом. Широкото разпространение на тези скали в този район, от една страна, и възможността изучаването на този аспект да послужи за разработване на по-детайлна и надеждна циклостратиграфска подялба и прилагането на тази подялба при разработване на високоразрешителна корелационна схема, от друга, правят изучаването на седиментната цикличност в скалите от долната част на групата особено актуална.

Установените седиментни цикли са с дебелина от 1.5 до над 10 m, с един ясен пик в интервала от 4 до 6 m. Въпреки извести вариации в състава им, долната част на циклите се доминира от предимно алохемни (кластични, оолитни) варовици, на места с косослоеста текстура, докато предимно в горната им част се установява присъствието на доломитни варовици до чисти доломити, нерядко с петниста и пламъчна текстура. Анализът на получените данни позволява интерпретирането на тази цикличност като такава от Миланкович-тип.

Introduction

Generally the lowermost part of the section of the Iskar Carbonate Group (ICG) in Western Stara Planina Mountain starts with terrigenous-carbonate rocks (that represent the transition from continental to marine depositional environment) that are covered by shallow marine carbonates. In the studied area the terrigenous-carbonate rocks are presented by the Svidol Formation. These rocks are overlaid by thick alternation of micrite and allochemic limestones and dolomites with Anisian age (Тронков, in: Хайдутев и др., 1995), that are covered by massive dolomites with Ladinian age.

According to Тронков (in Хайдутев и др., 1995) the Anisian in age limestone-dolomite alternation belongs to Mogila Formation (the lower part of this succession) and Babino Formation - respectively its upper part. On the base of geological mapping in scale 1:50 000 Ангелов и др. (1989) propose that

these carbonate sequence form another, different from Mogila and Babino Formations unit, that they propose to be named Elovitza Formation. The last one has not the statute of formal lithostratigraphical unit still. The thickness of this unit varies from 300 to 350 m (Ангелов и др., 1989).

The lateral distribution of this sequence is in the Elovitza anticline, part of Berkovitza unit (Western Stara Planina zone of the Balkanides) and is outcropped in two areas – south of Prevala village and between Chiprovtsi monastery (to the west) and Pomezdin and Elovitza villages to the east.

Except some short reports (Тронков, 1983; Айданлийски, Страсер и Тронков, В: Синьовски и др., 2004) the cyclicity in the Iskar Carbonate Group is still poorly studied. In this connection any new data, especially those connected with detailed lithofacial and stratigraphic descriptions of concrete section could be very helpful.

This paper presents some results from the realized specialized detail lithofacial and high-resolution stratigraphic description of part of the Upper Spatian and Anisian part of the Iskar Carbonate Group in the area of Elovitza anticline (Berkovitza unit of Western Stara Planina zone). Object of study is one section of the Iskar Carbonate Group that starts with Svidol Formation and cross the Anisian limestone-dolomite sequence situated on the road Ravna village-Gorna Kovachica village, about 0.5 km NE of Ravna village (Fig. 1). On the basis of detailed field and laboratory lithofacial studies meter-scale cyclicity is established.

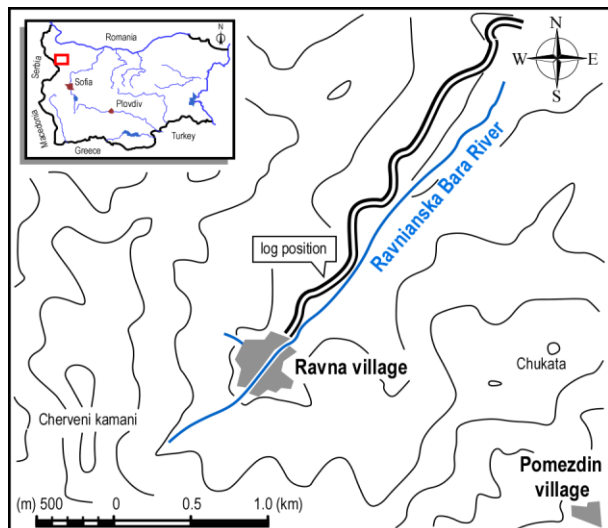


Fig. 1. Schematic map with the position of the studied section

Material and methods

The object of the study is part (about 55 m thick) of the section of the Anisian limestone-dolomite succession that covers the rocks of the Svidol Formation. The lithofacial documentation of the studied succession is based on the Miall (1996) lithofacial approach which was adapted and modified according its specificity of this study. The lithofacieses are documented by abbreviation that contain the rock type (capital letter), followed by the type of the construction components (small letter) and the structure (small letter in brackets). In the cases where there are several types of construction components, they are enumerated according to their quantity.

The lithological determinations of the terrigenous-carbonate rocks are according to the proposed by Султанов (1980) classification. The field color description of the rocks in the section is based on the Rock-Color Chart (1991).

Results

Generally the Anisian limestone-dolomite succession could be subdivided into two parts. In several levels of the lower part it was established limestone-dolomite meter-scale cyclicity that are very similar to those which is typical for the Mogila Formation in the area of Iskar gorge, while for the upper part of the unit is more typical the increasing of the portion of the nodular

limestones together with the significant development of dolomites.

Lithofacial characteristic of the cycles

The base of the established cycles represent erosional surface which amplitude is in the range of one to several centimeters (Fig. 2). Macroscopic it was not established gravel-size intraclasts which lithology is similar to the rocks below the erosional surface. As a rule, this surface is covered by allochem and bioclastic limestones (mainly packstones and rare) that in the lower part of the section contain also oolites. The limestones are medium- to coarse-grained, light to medium gray. The structure vary from trough and low-angle cross-bedded (lithofacieses La,b(tr) and La,b(l)), with transition to horizontal lamination (lithofacieses La,b(h)) to massive one (lithofacieses La,b(m)). Often is observed some increasing of the size of the sets. The nodular and wavy structure (lithofacieses La,b(n-w) and La-m(n)) are also presented but they form thin or uneven beds and lenses. In one of the beds is documented significant amount of well preserved shells (Fig. 2).

The allochem limestones form as solitary beds as well as packages, which thickness varies from 40-70 cm to over 3 m. This part of the cycles is interpreted as transgressive one.

Over the allochem limestones, in the middle part of the cycles, is build up mainly by irregular alternation of micritic, clayey and allochemic medium-light grey limestones with episodic development of terrigenous-carbonate and terrigenous rocks. Generally the rocks are finer-grained. The limestones are wack- to mudstones. The packstones, where they are presented forms very thin beds and lenses. Among the structures dominate the nodular, horizontal laminated and massive (lithofacieses La(m), Lm,a(m,h), Lm(m,h) and Lm,a(n)). In some levels slightly to moderate dolomitic limestones are also documented.

The terrigenous-carbonate rocks are presented mainly by marls (lithofacieses M) and medium to fine grained limy sandstones (lithofacieses Sm). The marls are grayish yellow green (5GY 5/2) to dusky yellow (5Y 6/4), massive, laminated or slightly nodular, thin to medium bedded. In some samples they are slightly silty. In two levels they form packages where alternate with thin bedded micrite (mudstone) massive to nodular, often clayey limestones (lithofacieses Lm(m) and Lm(n)) or dolomiticrites (lithofacieses Dm(m)). In these both cases the thickness of the allochem limestones from the lower part of the cycles is relative thin.

Other specific feature of this middle part of some cycles is their enrichment of terrigenous mica (Fig. 2).

The nodular micrite to clayey limestones form also the upper part of some of the cycles. In the other part of them, the upper part is dominated by micrite, some times slightly clayey, massive to slightly horizontal laminated grayish orange to grayish orange pink (5-10YR 7/4) dolomites (lithofacieses Dm(m-h) and Dm(m)). Usually the thickness of these beds is about 1-1.5 m and rare can be seen bodies which thickness is less than 50-60 cm.

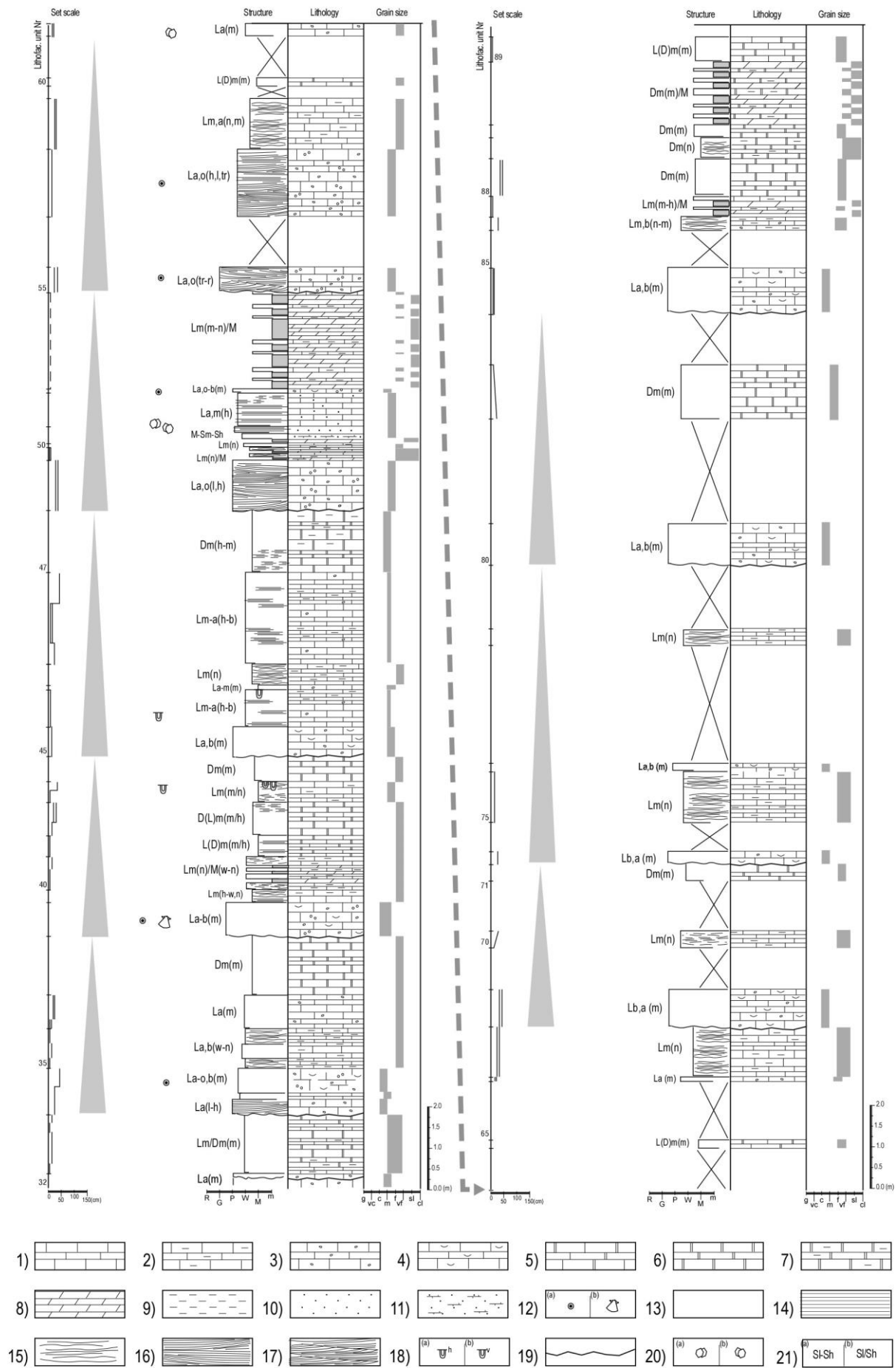


Fig. 2. Lithofacial log of the studied section. Lithology: (1-5) limestone: (1) pore; 2) clayey; 3) allochemic; 4) biotrititic; 5) dolomitic; (6-7) dolomite: (6) pore; (7) clayey; (8) marl; (9) argillaceous; (10-11) sandstone: (10) pore; (11) limy; (12) other components – a) oolites and b) well preserved shells. Structures: 13) massive; 14) horizontal lamination; 15) nodular; 16) low-angle cross-bedding; 17) trough cross-bedding; 18) bioturbation – a) horizontal and b) vertical; 19) erosional surface. Mineralogy: (20) terrigenous mica – a) along the lamination and b) chaotic. Lithofacies: (21) – a) transition and b) alteration.

The scale of the described above cycles vary from 1.5 to over 10 m, with clear peak in the interval from 4 to 6 m.

Discussion and conclusions

The structure, composition and the scale of the described above cycles are very similar to the meter-scale one established in the Mogila Formation in the area of the Iskar gorge (Тронков, 1983; Айданлийски и др., В: Синьовски и др., 2004). The vertical changes in the composition of the cycles as the thickness of their allochemic lower part, development and thickness of packages in which participate carbonate-terrigenous or terrigenous rocks in the middle part of cycles, as well as the degree and scale of dolomite development in their upper part from the other hand could be interpreted as manifestation of larger scale cyclicity, which is established in the Iskar gorge area as well.

The presented above data is just part of more complex study of the cyclicity in the Lower Triassic Series in Western Stara Planina zone, that include the cyclicity in the continental red beds, the transition from terrestrial to marine and shallow marine part of this Series. The results obtained are very preliminary but they gives important information about the possibility the cyclicity in this rocks to be used for solving as some lithostratigraphical problems as well as to be developed more precise and high-resolucional correlational scheme of the Lower Triassic Series in the area.

References

- Miall, A. D. 1996. *The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer, 582 p.
- Rock-Color Chart. 1991. (7th printing) Geol. Soc. America, Boulder, Co.
- Айданлийски, Г., А. Щтрасер, Д. Тронков. 2004. Маршрут VII. Цикличности в долготриаската серия между ж.п. спирка Оплетня и мах. Сфражен. – В: *Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом* (ред. Синьовски, Д.). С., Изд. "Ваньо Недков", 90-101.
- Ангелов, В., Н. Обретенов, Д. Вангелов, Д. Дойчев, Н. Юмерски, Д. Сираков, Ч. Начев, Я. Янев. 1989. Доклад върху геологията на част от Западна Стара планина и Западния Предбалкан между градовете Берковица, Михайловград и Белоградчик. – *Геофонд МОСВ*, IV-384.
- Султанов, А. 1980. Новая классификационная диаграмма глине-карбонатных пород системы карбонат-глина-обломочный компонент. – *Докл. БАН*. 33, 8, 1103-1106.
- Тронков, Д. 1983. Могильская свита (нижний-средний триас) в Искарском ущелье и Врачанской горе (западная Стара Планина). – *Geologica Balc.*, 13, 6, 37-52.
- Хайдутков, И., С. Янев, Д. Тронков, И. Сапунов, П. Чумаченко, Ц. Цанков, Н. Попов, Р. Димитрова, Т. Николов, К. Аладжова-Хрисчева, Д. Чунев, Л. Филипов. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100 000. Картен лист Княжевац и Белоградчик. *ЕТ "АБЕРС"*, София, 144 с.

Recommended for publication by the Department of Geology and Paleontology, Faculty of Geology and Prospecting

ROMANESTI STRUCTURE, A SUBTLE TRAP CASE STUDY

Mihail V. Batistatu

Oil-Gas University of Ploiesti, Ploiesti 2000; mihail_batistatu@yahoo.com

ABSTRACT. The Romanesti structure, belonging to the Getic Depression is characterized by the existence of a Diapiric fold at Oligocene deposits level which favored the occurrence of a gas accumulation in the covering younger deposits. The traps are subtle, formed by structural/stratigraphical and hydrodynamic processes. That is why the shape of the gas pools is peculiar and the distributions of fluids are also unusual sometime the gas accumulations being placed under the water saturated levels in the same reservoir.

ПРОУЧВАНЕ НА НЕВИДИМ ЕСТЕСТВЕН НЕФТЕН РЕЗЕРВОАР, РУМЪНСКА СТРУКТУРА

Михаил В. Батистату

Университет по нефт и газ, Плоещ, Плоещ 2000, Румъния; mihail_batistatu@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Румънската структура, принадлежаща към Гетската депресията е определена при съществуващата диапирна гънка към хоризонта на Олигоценски наноси, което благоприятства наличието на петролни натрупвания в по-младата покривна на находищата. Естествените резервоари на нефт и газ са невидими, образувани чрез процесите на структурно/стратиграфски и хидродинамични процеси. Това е защото формата на газовите находища е специфична и разпространението на флуидите са също така необичайни, понякога нефтените натрупвания се поместват под водните наситени хоризонти на самия резервоар.

Introduction

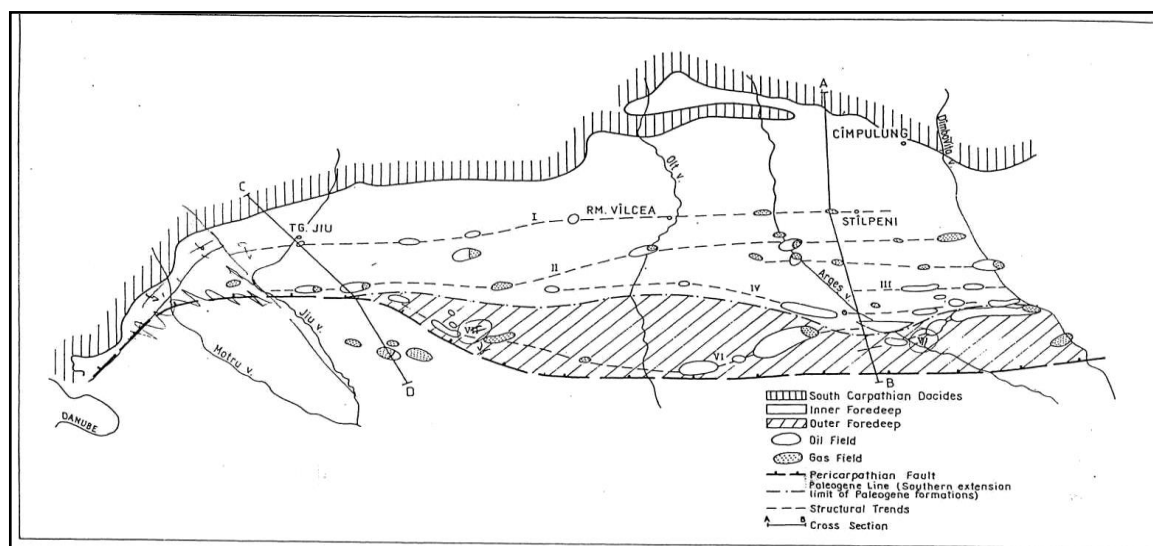
Oil and gas traps are sometime very different of the classic models of entrapment so everyone of them must be treated as a new different sistem with its characteristics. In the last 3-4 decades mainly onshore the majority of classic traps have been discovered and exploited so it is obvious that the remaining accumulations must be located in subtle traps as the one presented bellow. As Levorsen (1967) said combined traps present a huge variety between the two extremis, structural and stratigraphic traps, involving very different mechanisms and processes. The Getic Depression is the

sector of Carpathians foredeep positioned between the Dimbovita Walley and Danube.

Regional Geological Frame

The Romanesti structure is placed in the middle-west zone of Getic Depression unit, on the Romanesti – Bustuchini – Gradistea structural alignment (Fig. 1).

Fig. 1. Tectonic sketch of Getic depression with principals oil accumulations



It is represented by post laramic molasse deposits of Dacides (GeticNape, Ceahlau Nape, Severin Nape, Danubian Autohton). In the southern part it is limited by the Pericapatian Fault thrusting the Moesian Platform covered by the upper molasse deposits, Sarmato–Pliocene (Sandulescu 1984; Dicea 1991).

On the northern, epicarpathic flank The Getic depression overlays the crystalline and Mesozoic deposits of the Meridional Carpathian Belt. The stratigraphic column of the Getic Depression (Fig. 2) consists of Paleogene, Miocene and Pliocene deposits (Mutihac 1990; Dicea 1991) The total thickness of these deposits is between 2500 and 5000 m depending of the position on in the sedimentary basin of lower respectively upper molasse.

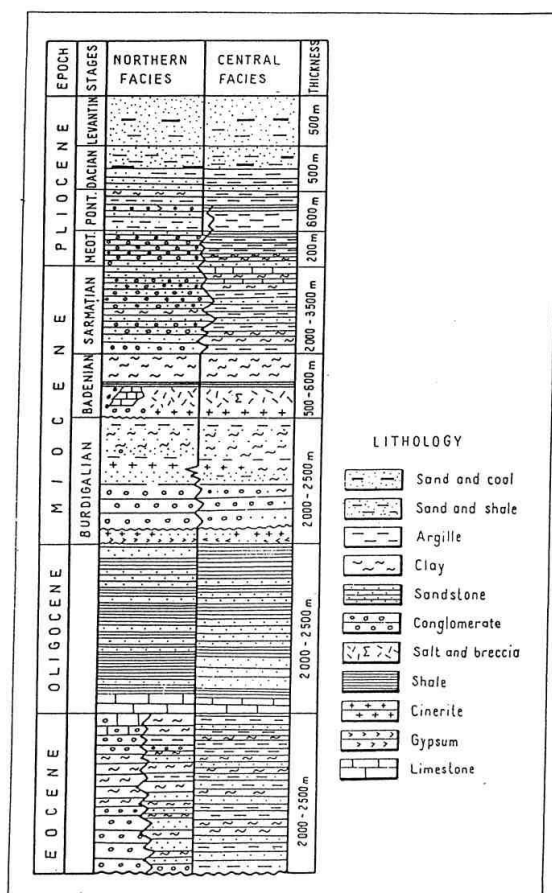


Fig. 2. Stratigraphic column of Getic Depression

The Paleogene is represented by Eocene and Oligocene deposits developed in a detrital facies, sandstones for Eocene and mainly pelitic for Oligocene, with a total thickness until 5000 m, decreasing from North to South limited in the south by a major fault zone, Ticleni – Stilpeni, which separates the Inner and Outer Foredeep zones.

The Miocene has a molasse aspect, consisting of sandstones, limestones, marls and salt deposits from Burdigalian to Sarmatian. It is about 2000 to 3500 m thick. The Pliocene deposits are about 500 to 1800 thick and are formed by sands and marls.

Structural Geology

Stratigraphy

The Romanesti structure is formed by deposits covering the Oligocene-Pliocene interval.

- Oligocene, consists of a 870 m thick pelitic formation (shales and marls) with rare thin sandstone intercalations.
- „Helvetian” deposits transversely superposed on Oligocene deposits is about 1500 m thick and consists of an alternant sandstones to sands and marls to shales) clastic series about 1500 m thick.
- Badenian deposits are developed in a sandy/marly facies alternance on the borders of the structure with varying thickness from 0 to 200 m.
- Sarmatian deposits are formed by sandy marls, marly sands and rare limestone thin films. The total thickness of the sarmatian formation is about 150 m.
- Meotian deposits are mainly formed by marls with a few sandy/sandstone intercalations with a total thickness about 200 m.
- Pontian formation is entirely consisting of marls and has a 200 m thickness.
- Dacian-Romanian deposits, about 400 to 700 m thick consists of a series of sands, marls, clays and coal intercalations.

Tectonics

The Romanesti structure is formed in the general frame of geotectonic evolution of Getic Depression, as a result of moldavian tectonic movements when the foredeep formations thrust the Moesian Platform deposits along the Pericarpathic Fault.

The structure has an anticline shape oriented approximately West-East. The oligocene pelitic deposits involved in folding process have a diapiric role crossing the overlying Miocene deposits until about 200-300 m from the surface (Fig. 3) and providing the necessary onset for a longitudinal faults system oriented west-east. Also the existence of these main faults induced a shear faults system oriented in an 30 to 40 degrees angle related with the main stress direction (Fig. 4).

The diapiric Oligocene divide the structure in two units, a northern one, structurally uplifted and a southern lowering one.

Gas accumulations

The Romanesti Structure is a Gas bearing one consisting of 8 productive levels (complexes) named Helvetian VI, V, IV, I, Sarmatian III, II, I and Meotian.

Each complex contain more individual layers with a 2 to 8 m thickness made of sands and/or sandstones. They are partially or integral sealed forming distinct hydrodynamic individual units. The main sealing mechanism is related with the existence of different blocks, but how we will explain latter is more complicated.

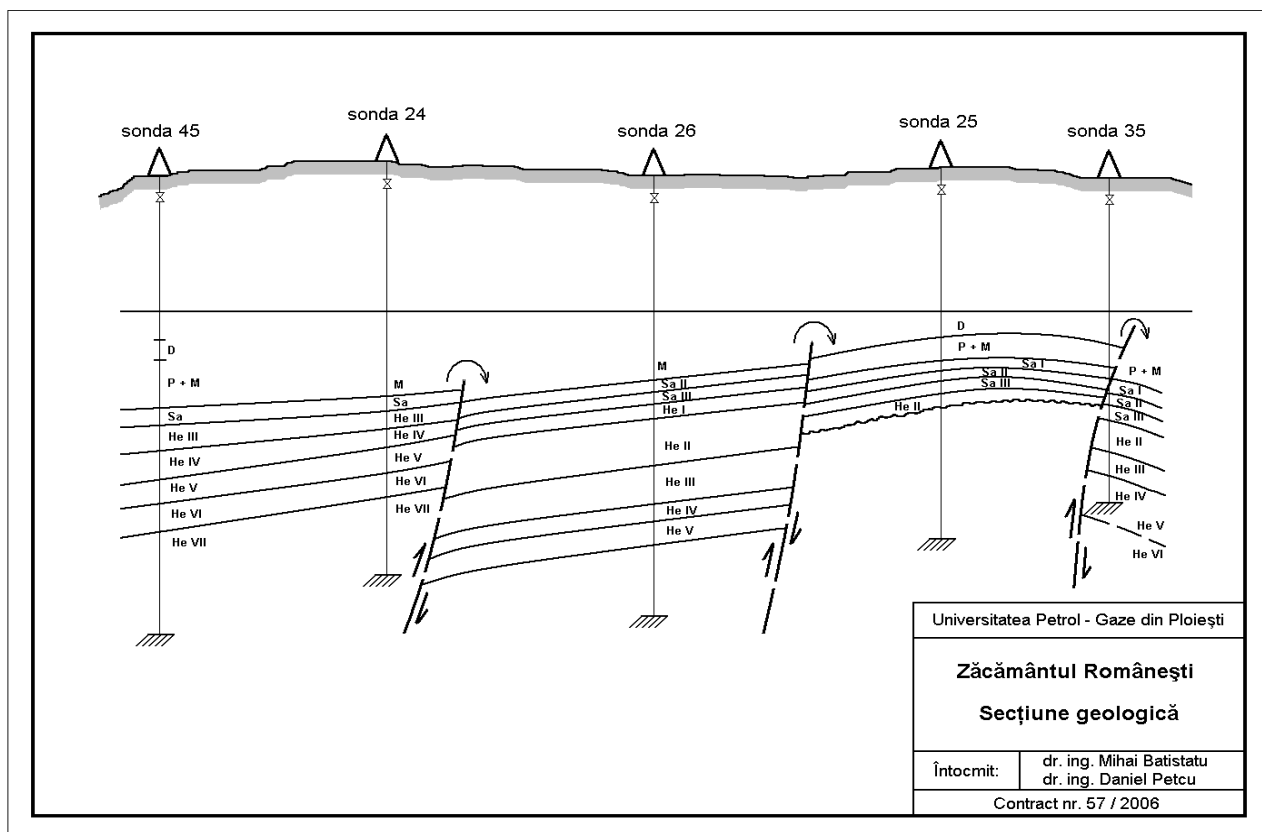


Fig. 3. Romanesti structure geologic cross section

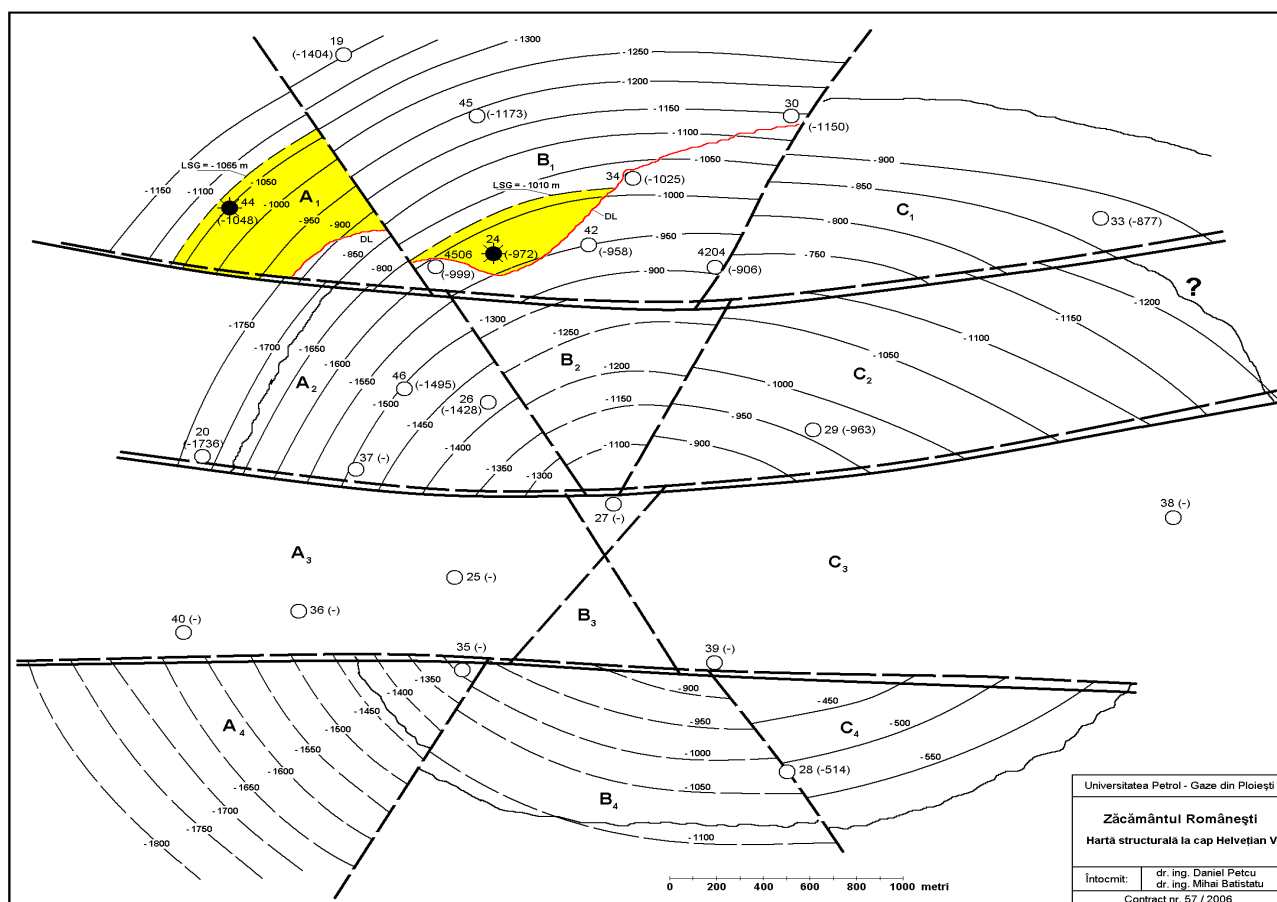


Fig. 4. Srtuctural map of He VI producing complex of Romanesti gasfield

The northern flank is better represented containing more productive blocks. The depth of the gas reservoirs is between 1500 to 500 m and the volumes of gases are usually small.

Traps Forming Processes and Traps Shape

The characteristics of the gas traps from Romanesti structure are peculiar, so the entrapment mechanism has to be more complicated with combined and subtle elements (Paraschiv 1975, Batistatu 1996).

First of all from the well logs interpretation and exploitation results we may observe that the central part of the structure is not a productive one although we may find several porous permeable layers but they are water saturated. The same layers or better complexes produce, at lower depths gases.

Also we may observe that the clay content of the reservoirs is widely varying so the character of the reservoir may change in surface for the same layer, the productive area of the complexes being lithologically limited.

These facts, combined with structural and production data enable us to emphasize more trapping mechanisms for the studied area:

- Structural trapping of the reservoirs by fault seals providing distinct tectonic blocks with different gas water contacts for each productive complex or even strata.
- Lithological trapping by the changes of clay content of the reservoirs on different areas.
- Hydrological trapping at the upper part of the reservoirs.

As the first two types of seals (faults and lithology) are well known we will provide the arguments for the third type of seal. The main elements of this mechanism are the presence of meteorically waters, diapir folding and capillarity forces.

In fact the presence in the central part of the structure of a shale diapir formed by the Oligocene shale induced in the cap rocks and suprajacent layers a system of micro fractures, making a connection between the surface of the earth and the inner zones above and bordering the shale diapir. We may also speak about an imperfection of the diapir fault seal.

The meteoric waters descended thru this (micro)fractured area until lower layers than usual and the rocks became water saturated.

The clays from the reservoirs became hydrated and changed (increased) their volume partially sealing the pore space.

Also the capillary forces and the water column pressure provide a seals which stops the Archimedic ascendance of the gases contained in the reservoirs.

It remains the problem of timing, the temporal shifting between the moment of trap forming and the gases generation and migration.

The age of diapir ascendance of the shale, related with the overburden crossed by it is related with the recent movements, the youngest sediments affected being the pontian ones, maybe the Valachian tectonic phase. Also the moment of gases migration is a recent one, maybe less than

2 million years. That means that the trap conditions already existed at the moment of migration.

We may see that the traps from Romanesti structure are subtle one combining all the elements enounced before, providing a complicated trapping system. These assumptions have been confirmed by the interpretation of well logs, mainly PNN logs in the existing wells which indicated for the same reservoir water saturated rock in the upper part and gases saturated rock in the lower parts, and also by the production tests.

The same situation, at a more, more larger scale is noticed in the Deep Basin gases oilfields of Canada and San Jose Basin from Texas.

Conclusions

Romanesti structure is placed in the central part of the Getic Depression. It has the shape of an anticline oriented west-east and the main structural features are the effect of a diapiric process concerning the Oligocene shales from the structure. This process involved also the appearance of an complex faults system which divided the whole structure in a series of tectonic blocks.

Traps forming mechanisms are complexes and "subtle" combining a series of different factors of different nature: structural; lithological; hydrodynamic (hydrological). As a consequence of these combined trapping mechanisms the shape and size of the gases accumulations present a peculiar position. So in the upper part of the reservoirs there are present water saturated zones and below them, in the same reservoir we may find gas saturated zones. Also the clay content variations in the reservoirs provide both seal and delineation of gases accumulations.

References

- Batistatu, M.-V. 1996. *Capcane subtile la nivelul principalelor zone petrogazeifere din Romania*. I.C.P.T.-C.P.I. Cimpina 12-30.
- Dicea, O. et. al. 1991. *Cadrul geologic de formare a acumularilor de petrol si gaze in principalele bazine de sedimentare din Romania*. Oral presentation, A.A.P.G., Dallas.
- Levorsen, A. A. 1967. *Geology of Petroleum*. Sec. Ed. Freeman Publ. Co., San Francisco, 83-124.
- Mutihaç, V. 1990. *Structura Geologica a teritoriului Romaniei*. Ed. Tehnica, Bucuresti, 195-220.
- Paraschiv, D. 1975. *Geologia zăcămintelor de hidrocarburi din Romania*. Ed. Academiei R.S.R., Bucuresti, 24-51, 256-311.

OVERPRESSURES GENERATING PROCESSES IN OLIGOCENE OILFIELDS OF ROMANIA

Mihail V. Batistatu, Ion Mălureanu

Oil-Gas University of Ploiesti, Ploiesti 2000, Romania; mihail_batistatu@yahoo.com; malureanu51@yahoo.com

ABSTRACT. The Oligocene deposits of the folded zones from Romania belonging to the Carpathians Belt generated and preserved in their existence many overpressured layers consisting of an succession of interbedded oil shales and sandstones. The occurrence of these overpressured formations are related with two main causes, rapid sedimentation and folding up to overthrusts and even napping. The estimated/calculated values of these overpressured zones are varying between slightly abnormal till some very high values close to lithostatic gradients. They provide seriously drilling problems and also a peculiar relation between the amount of resources and reserves.

СВРЪХНАЛЯГАНИЯ ВОДЕЩИ ПО ПРОЦЕСИ В ОЛИГОЦЕНСКИТЕ НЕФТЕНИ ПОЛЕТА НА РУМЪНИЯ

Михаил В. Батистату, Йон Малуреану

Университет по нефт и газ, Плоещ, Плоещ 2000, Румъния; mihail_batistatu@yahoo.com; malureanu51@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. Олигоценските находища от нагънатите области на Румъния принадлежащи на Карпатския пояс са генерирани и съхранили при своето развитие много пластове подложени на свръхналягания, представени от последователност от взаимопроницаващи нефтени шисти и пясъчници. Присъствието на тези пластове е свързано с две основни причини – бърза седиментация и нагъвания до възсъзания и навличания. Предполагаемите и изчислени стойности на тези зони на свръхналягания варират от леко аномални до изключително високи стойности близки до литостатичния градиент. Те предизвикват сериозни проблеми при сондирането, а също така особено съотношение между количеството на ресурсите и установените запаси.

Introduction

Mechanisms of Overpressure Generation

The most important mechanisms of overpressures generation, for subsidence analysis are:

- clays (shale's) under compaction
- tectonic uplift
- thrusting all of them providing important clues regarding basins evolution.

Clays under compaction is provided by a very fast subsidence and sediments accumulation. In this case will appear a very thick sediments column and, when the sediments have a high clay content the reducing of pore space is important (Fig. 1).

In many cases a thick clayey formation expel the fluids in a specific manner (Chapman, 1976) consisting in a rapid expelling at the borders of the layer thus the limits of the unit will suffer a very rapid decreases of porosity and will became almost impermeable whit the inner part of the unit pressure an important amount of fluids which cannot be expelled so it will be overpressures (Fig. 2).

We may calculate, from well logs, from drilling data and from production data the pressure of the fluids at a certain depth. Assuming that the calculate pressure, higher than normal one, corresponding to a certain depth, added to a vertical.

In the same manner we may calculate a minimum depth corresponding to a smaller porosity and pressure. The subsidence must be placed between these values. When the origin of overpressures is the uplifting of a tectonic isolated unit the task is easier because the pressured fluid pressure is corresponding to a burial depth (Chirita, 1986).

In this case we may find a depth where the calculated pore pressure is a normal one. The existence of these overpressures involves a dedicated drilling technology and many times during the drilling of the wells will appear a lot of difficulties like borehole constriction, blow up, differential sticking etc.

For a better understanding are presented two case studies from the Diapiric Fold Zone.

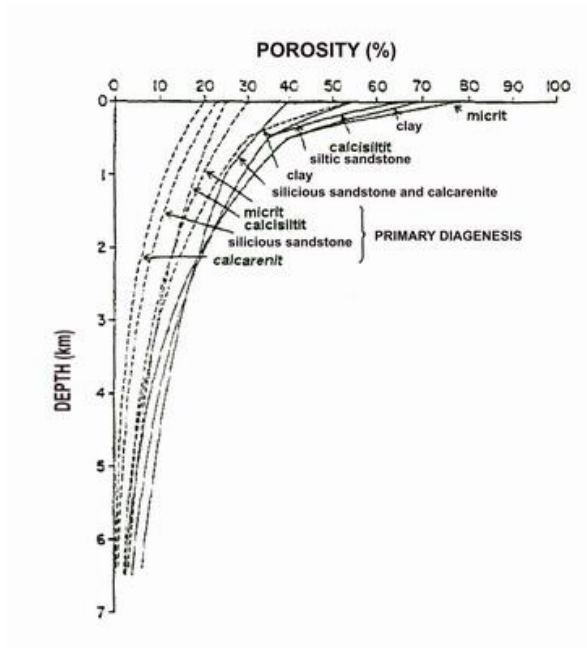


Fig. 1. Porosity versus depth variations for different kinds of rocks

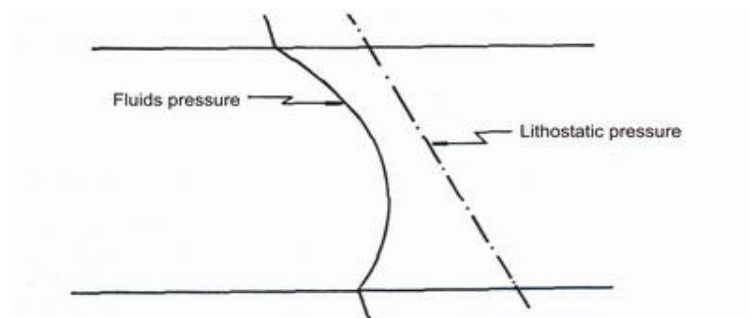


Fig. 2 . Fluids pressure distribution in a thick clay layer after Chapman 1976, with modifications

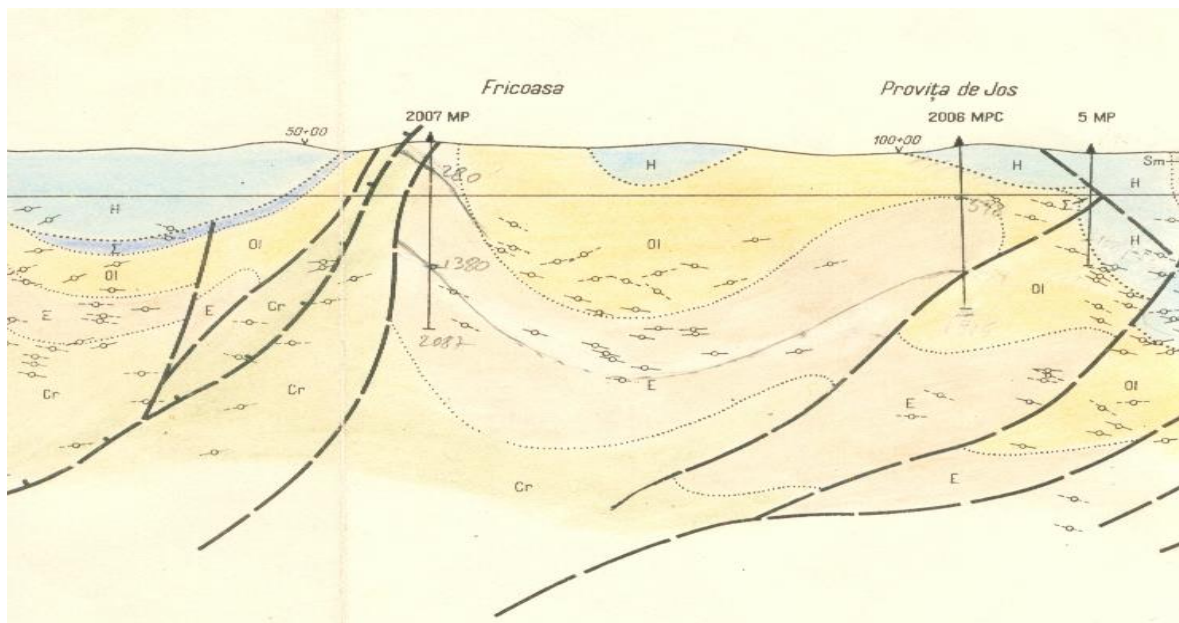


Fig. 3.. Cross-section of the northern border of Diapiric Fold Zone

Case study: Diapiric Folds Zone

In the Diapiric Folds Zone, Known as the most productive oil region of Romania, have been drilled more than 7000 wells. Almost all these wells have been investigated with geophysical well logs, mainly electric methods.

From these logs interpretation we may obtain a huge amount of geological data. Among them we focused on overpressures values, their distribution on geological units, ages, formations and their signification. From north to south the changes are related to the existence of Homoriciu and Valeni spurs belonging to Tarcau nape and, in the outer part, the "foredeep" oligogene belonging to the Subcarpathian nappe, occurring at deeper levels, until 6000 m, overpressured and maybe oil-bearing.

So the Homoriciu spur is present on large zones (at different depths) and is changing from east to west from Kliwa sandstone facieses to Pucioasa facieses. On the northern border of the Diapiric Folds Zone the main productive formation is Oligocene. It belongs to the Tarcau Nape and is developed in different facieses.

As we can see in the Fig. 3 the thrust processes in the studied area are important and they provide a high pressure gradient for mainly shally Oligocene deposits. One of the most visible effects of overpressures is the change of the resistivity values for the marls and shales

In the next figure we may observe the resistivity values from a well placed in the sothern part of the section, in the Provita structure zone (Fig. 4). Based on these values we may calculate the pressure gradients the most suitable method being the one established of Ben Eaton (1976) with a small modification of α exponent which for this region has values around 1.15 instead of the original 1.5 used by Ben Eaton (Fig. 5).

The overpressures of Oligocene deposits are related with shales under compaction, as a consequence of rapid sedimentation and burial, and, mainly in the outer zone, to the tectonic uplift of formations.

Miocene deposits preserve also important overpressures related with the same causes like Oligocene deposits. Pliocene deposits are usually normal pressured excepting a small zone (Valcanesti Magurele) where are present overpressures in Pontian and Dacian, related with tectonic events and diapirs evolution. The links between formations pressures and geological evolution of the zone are obvious and thus plotting the pressures values we may highlight some important geological data.

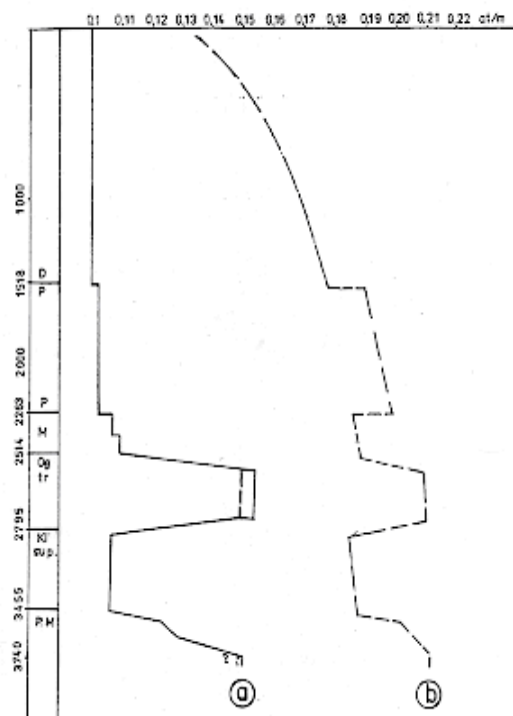


Fig. 4. Shales resistivity variations for abnormal pressured Oligocene deposits

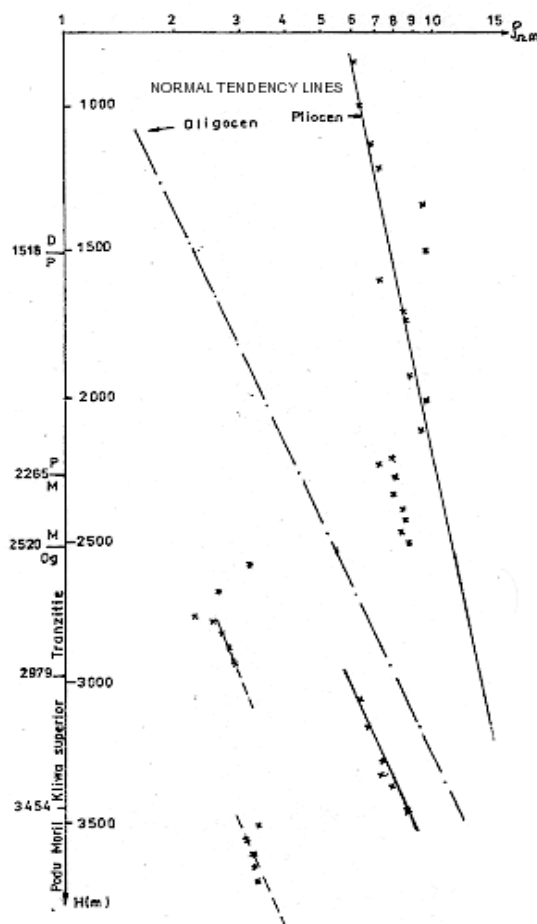


Fig. 5. Pressure gradients values for 5511 Provita well calculation

Conclusions

The Oligocene deposits from Romania are usually defined by high pressure values. These values are depending first of all of the lithology of the deposits, mainly shales and marls.

The principal mechanisms of overpressures developing are related with rapid subsidence and high rate of sediments accumulation and also with the tectonic evolution of the sedimentary basin. The drilling conditions for these formations are difficult and they need a high experience and technology.

The existence of the overpressures and its values is an important clue in sedimentary basins evolution analysis and also for oil generating potential estimation.

References

- Batistatu, M. V. 1998. *Investigarea geologica si geofizica a formatiunilor premiocene din Zona Cutelor Diapire prin Foraje de mare adincime*. – Teza de doctorat, Univ. Buc., 96, 103 p.
- Chapman, R. 1976. *Petroleum Geology. A Concise Study*. Elsevier, Amsterdam, 56-82.
- Chirita, St. et. al. 1986. *Evaluarea gradientilor de presiune, fisurare; I temperatura pentru structurile petrolifere din Romania*, I.C.P.P.G. Cimpina archive unpublished 35-60.
- Eaton, B. 1976. *Graphical Method Predicts Geopressures World Wide*. World Oil.
- Heller, P. L. et. al. 1990. *Quantitative Sedimentary Basin Modeling*. Education Course Note Series, 32, A.A.P.G., Tulsa.

Recommended for publication by the Department of Geology and
Prospecting of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Prospecting

PETROCHEMICAL PECULIARITIES OF THE CHAM DERE PALEOGENE MAGMATIC GROUP, EASTERN RHODOPE

Vladimir Georgiev¹, Petar Milovanov²

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113; vladgeo@geology.bas.bg

²Geology and Geophysics Ltd.

ABSTRACT. The Cham Dere Group unites the acidic magmatic rocks of the late extensional Paleogene magmatism in the Northeastern Rhodopean Depression. This group includes the sequentially formed Borovitsa rhyolite, Bryagovo rhyolite, Panichkovo trachyrhyolite, Murgен trachyrhyolite, Gradishte trachyrhyodacite, and Tri Mogili dyke complexes.

The rocks of Borovitsa, Panichkovo, Murgен, and Gradishte magmatic complexes are characterized with similar trends of distribution of the main oxides. This supports the ideas about a common origin (magma chamber) of the initial magmas. On the K_2O/SiO_2 diagram their distribution trends dispose mainly in the field of the shoshonite series. The more basic varieties of the Tri Mogili complex fall in the field of the high-potassium subalkaline series.

ПЕТРОХИМИЧНИ ОСОБЕНОСТИ НА ПАЛЕОГЕНСКАТА ЧАМДЕРЕНСКА МАГМЕНА ГРУПА В ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ

Владимир Георгиев¹, Петър Милованов²

¹Геологически институт, БАН, София 1113; vladgeo@geology.bas.bg

²Геология и геофизика АД

РЕЗЮМЕ. Чамдеренската група обединява киселите магмени скали на късноекстензионния палеогенски магматизъм в Североизточнородопската депресия. Тя включва последователно формираните Боровишки риолитов, Бряговски риолитов, Паничковски трахириолитов, Мургенски трахириолитов, Градищенски трахириодацитов, и Тримогилски дайков комплекси.

Скалите от Боровишкия, Паничковския, Мургенския и Градищенския магмени комплекси се характеризират със сходни закономерности в разпределението на основните окиси. Това подкрепя идеята за общ корен (магмена камера) на родоначалните магми. На диаграмата K_2O/SiO_2 техните трендове на разпределение се разполагат главно в шохонитовата серия. По-базичните разновидности на Тримогилския комплекс попадат в полето на висококалиево субалкалната серия.

Introduction

The Cham Dere magmatic Group includes the acidic volcanic rocks of the Northeastern Rhodopean Depression (Borovitsa volcanic region according to Иванов, 1960). This depression has formed during Paleogene in the region between the Central Rhodope Dome and the Harmanli Block. Its origination has been connected with the processes of extension and exhumation of the metamorphic core complexes in the Rhodopean Massif (Ivanov, 2000; Georgiev, 2004, 2005).

Terrigenous and carbonate rocks have deposited at the base of the depression during Paleocene-Eocene. At the end of Priabonian and during Rupelian the depression has been an arena of intensive volcanic activity. The initial magmatic acts in the region (Priabonian-Lower Rupelian) are characterized by medium acidic composition (Sumitsa Group; Георгиев, Милованов, 2006a). The later phases (Rupelian) are with acidic composition (Cham Dere acidic Group; Георгиев, Милованов, 2006b). The materials of Cham Dere Group display differentiated areal and spreading and it has been proposed that they are a result of the activity of one magmatic chamber (Georgiev, Milovanov, 2005). The magmatic rocks of

Cham Dere Group fill up the Borovitsa caldera (volcano-tectonic depression; Иванов, 1960). Several extrusions, tens of dykes and rare tuff spots crop out beyond the caldera boundaries as well (Fig. 1). They are localized predominantly in east-northeast direction from the caldera and mainly along the Bukovitsa fault sheaf (Topolovo-Pilashevo fault belt, Боянов, Маврудчиев, 1961).

The following complexes have been separated in Cham Dere magmatic group (Георгиев, Милованов, 2006b): Borovitsa rhyolite, Panichkovo trachyrhyolite, Murgен trachyrhyolite, Gradishte trachyrhyodacite, Tri Mogili dyke, and Bryagovo rhyolite ones. The rocks of Borovitsa, Murgен, and Bryagovo complexes display explosive facies and those of Panichkovo, Gradishte, and Tri Mogili – effusive and subvolcanic ones.

Results

In respect to SiO_2 content the rocks of Borovitsa, Panichkovo, Murgен and Gradishte complexes are related to

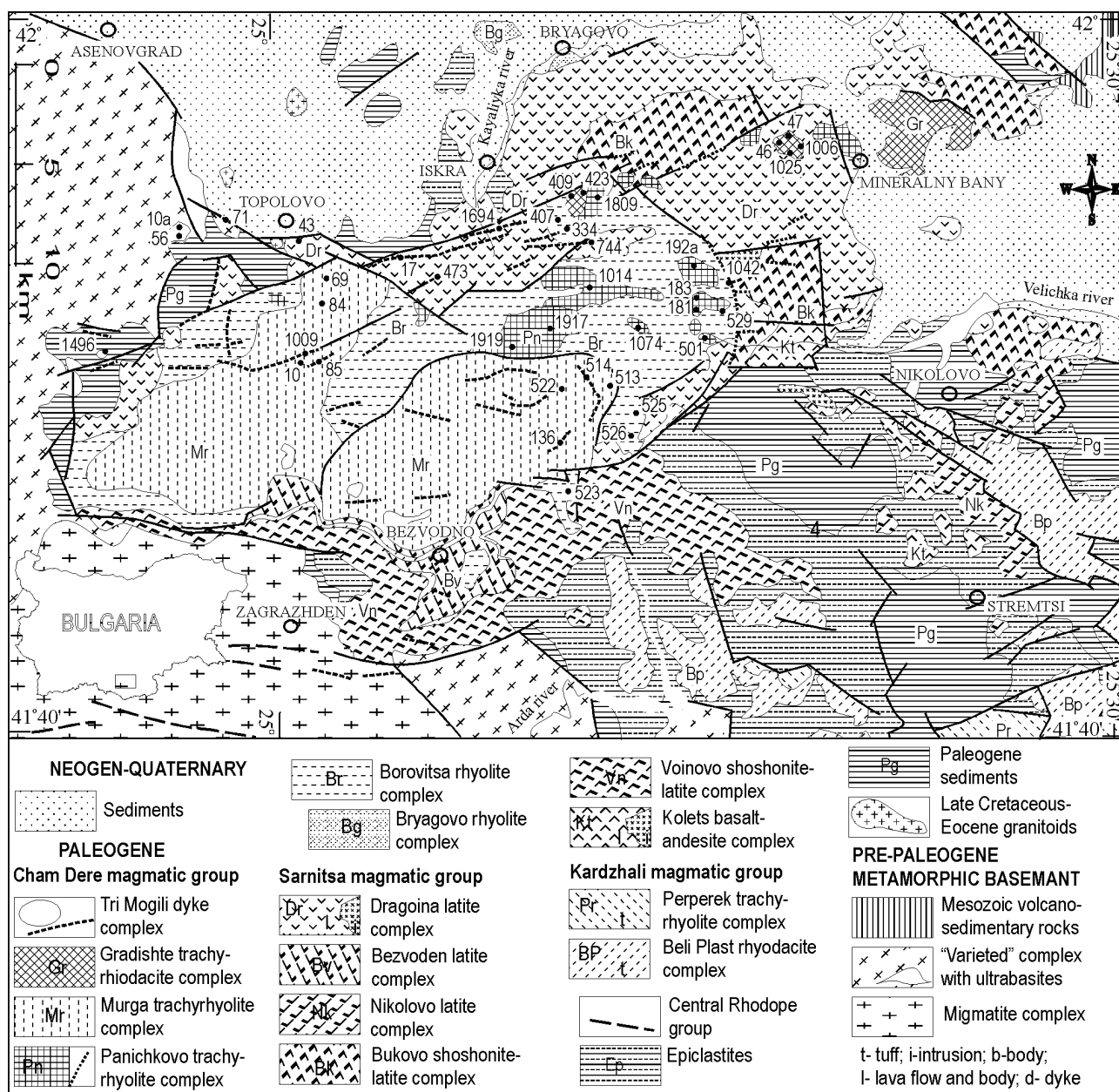


Fig. 1. Map of magmatic complexes in the Northeastern Rhodope Depression

the group of acidic rocks – dacites, rhyodacites, and rhyolites. The rocks of Tri Mogili complex fall in the groups of both medium acidic and acidic rocks – basaltic andesites, andesite, dacites, and rhyodacites.

The specified magmatic complexes are characterized with similar values of the contents of the principle oxides. Only Tri Mogili complex differs with higher Na_2O contents (Fig. 2), which results in low values of the $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratio. Tri Mogili and Gradishte complexes display also higher values for the MnO content.

On the $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ diagram (Fig. 3) the analyses for the majority of the acidic varieties fall in the field of the shoshonite series (trachydacites, trachyrhyodacites, and trachyrhyolites). A significant number of analyses occupy the field of the high-potassium subalkaline series (high-potassium quartztrachytes, trachyrhyodacites, and trachyrhyolites) and only single

samples are in the field of the high-potassium calcalkaline series (high-potassium dacites, rhyodacites, rhyolites). The medium acidic varieties of Tri Mogili complex fall predominantly in the field of the high-potassium subalkaline series (high-potassium trachyandesites and trachites) and partially in the field of the shoshonite series (shoshonites and latites).

The rocks under study are characterized also by an increased total alkalinity. The majority of the rocks plotted on the diagram $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ occupy the field of the trachyte varieties (Fig. 4). The rocks of Tri Mogili complex are characterized also by relatively highest alkalinity.

Discussion

The rocks of Borovitsa, Panichkovo, Murgan, and Gradishte complexes are characterized with similar regularities

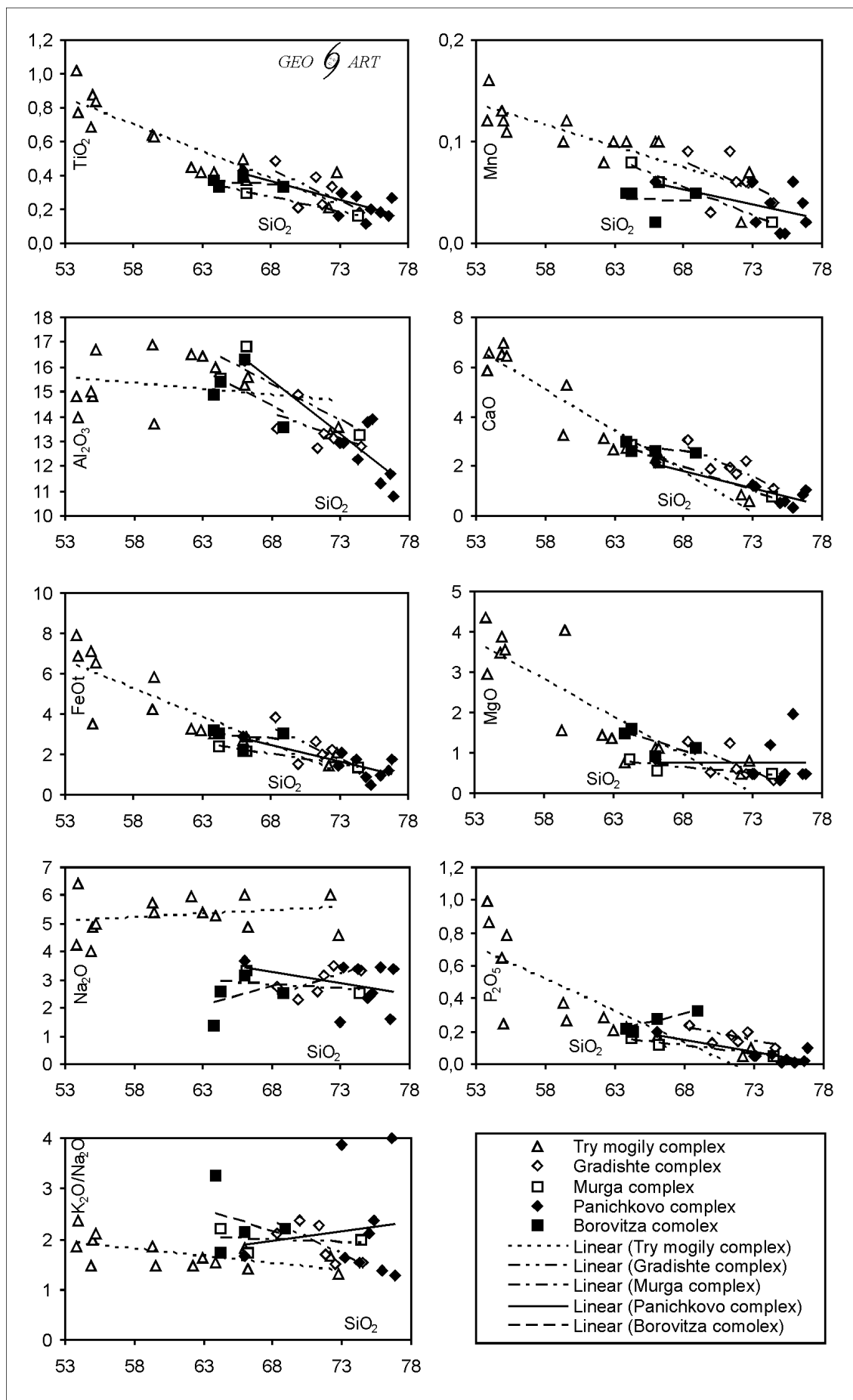


Fig. 2. Harker diagrams of the main oxides

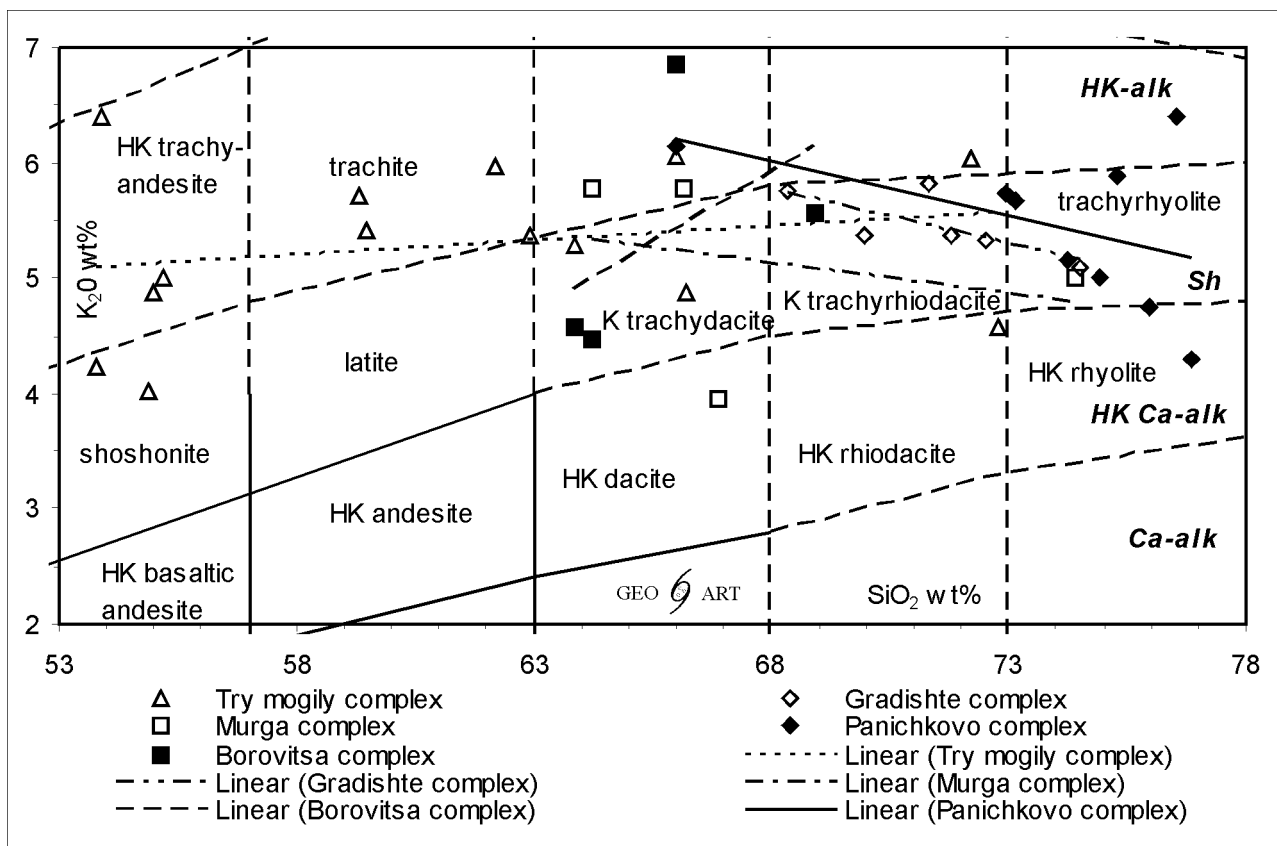


Fig. 3. K_2O/SiO_2 diagram (according Dabovski et al., 1991)

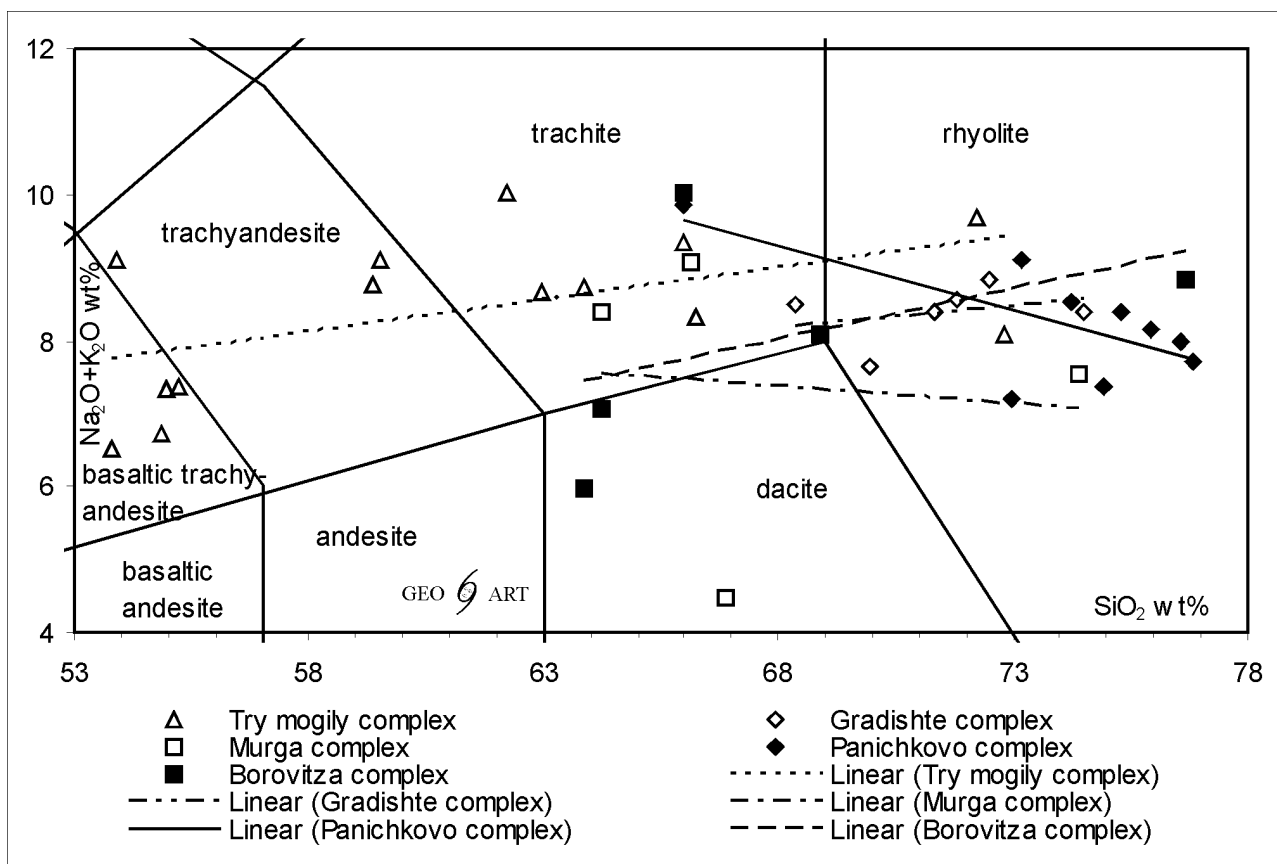


Fig. 4. $(Na_2O+K_2O)/SiO_2$ diagram (according Le Bas et al., 1986)

Table 1
Representative analyses of samples from the Cham Dere group

No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	FeOt	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	NaO ₂	P ₂ O ₅	CO	S	H ₂ O-	LOI	H ₂ O+	Σ
Try mogily complex																		
136	65,99	0,50	15,30	2,62	0,37	2,75	0,10	2,37	1,11	6,05	3,30	0,17		0,02	0,30	0,98	0,00	99,18
514	53,80	1,02	14,81	6,84	1,72	7,94	0,12	5,87	4,37	4,24	2,28	0,99		1,70	2,00	2,22	0,00	101,98
17a	54,97	0,88	14,80	0,41	3,13	3,50	0,12	6,96	3,88	4,88	2,45	0,25	1,00	0,07	0,69	1,84	0,00	96,33
10	59,33	0,64	16,92	2,93	1,58	4,25	0,10	3,24	1,56	5,72	3,06	0,37	1,76	0,01	0,82		1,72	99,76
1009	62,94	0,42	16,43	2,67	0,75	3,18	0,10	2,69	1,35	5,37	3,31	0,21	0,35	0,01	1,04		2,05	99,69
56	62,20	0,45	16,50	2,63	0,86	3,25	0,08	3,09	1,43	5,96	4,05	0,29	0,45	0,01	1,01	1,05	0,71	100,77
744	59,49	0,63	13,69			5,85	0,12	5,25	4,04	5,42	3,68	0,27				1,37	0,00	99,81
85	63,86	0,42	15,97	2,44	0,78	3,00	0,10	2,74	0,77	5,28	3,44	0,23	1,17	0,01	0,92		1,53	99,66
1416	66,23	0,37	15,57	1,91	1,11	2,85	0,10	2,46	1,10	4,88	3,44	0,14	0,75	0,01	0,75		1,18	100,00
10a	72,80	0,42	13,60	1,84	0,43	2,10	0,07	0,56	0,81	4,58	3,50	0,10			0,77	1,60	0,00	101,08
71	72,21	0,21	13,32			1,43	0,02	0,86	0,50	6,04	3,64	0,05				1,20	0,00	99,48
473	54,87	0,69	15,00	4,81	2,73	7,11	0,13	6,52	3,48	4,01	2,70	0,65	2,70	0,13	0,10		1,59	100,11
43	55,20	0,84	16,70	3,66	3,20	6,53	0,11	6,46	3,56	5,00	2,37	0,79	0,32	0,02	0,49		1,23	99,95
1694	53,89	0,77	13,98	6,05	1,38	6,89	0,16	6,58	2,95	6,40	2,70	0,87	1,80	0,02	0,30		1,98	99,83
Gradishte complex																		
409	74,50	0,18	12,82	1,29	0,12	1,29	0,04	1,13	0,31	5,09	3,31	0,10	0,22	0,01	0,10	0,80	0,59	100,61
423	71,80	0,23	13,30	1,69	0,44	1,98	0,06	1,66	0,62	5,37	3,18	0,14	0,02	0,21	0,21		1,18	100,11
1014	69,96	0,21	14,90	1,43	0,25	1,55	0,03	1,89	0,52	5,37	2,28	0,13	0,09	0,01	0,85	1,87	0,50	100,29
47	68,36	0,49	13,50			3,86	0,09	3,07	1,28	5,75	2,73	0,24				0,98	0,00	100,35
48	71,32	0,39	12,75			2,63	0,09	1,93	1,26	5,82	2,56	0,18				1,34	0,00	100,27
1025	72,50	0,33	13,14			2,28	0,06	2,18	0,50	5,32	3,52	0,20				0,66	0,00	100,69
Murga complex																		
513	74,38	0,16	13,26	1,37	0,14	1,39	0,02	0,75	0,47	5,00	2,53	0,05	0,04	0,01	0,65	0,93	0,96	100,72
522	66,90	0,18	14,20	1,22	0,18	1,29	0,08	2,24	0,82	3,96	0,52	0,01		0,01	4,50		4,90	99,72
69	66,16	0,30	16,83	1,61	0,68	2,15	0,06	2,12	0,55	5,77	3,31	0,12	0,50	0,01	0,26		1,55	99,83
84	64,21	0,33	15,50	2,39	0,25	2,42	0,08	2,85	0,85	5,77	2,61	0,16	1,40	0,01	1,84	2,82	0,00	101,07
Panichkovo complex																		
1917	72,96	0,16	12,95			1,46	0,06	1,22	0,50	5,73	1,48	0,05				3,00	0,00	99,57
1919	76,55	0,16	11,66			1,20	0,04	0,85	0,50	6,40	1,60	0,02				1,18	0,00	100,16
1809	75,30	0,20	13,88			0,50	0,01	0,60	0,50	5,89	2,50	0,03				0,88	0,00	100,29
1042	66,00	0,43	16,26	2,00	1,04	2,86	0,06	2,17	0,84	6,15	3,69	0,20	0,09	0,15	0,24		1,24	100,56
181	74,23	0,28	12,25			1,78	0,04		1,20	5,16	3,36	0,06				0,49	0,00	100,15
183	76,84	0,27	10,80			1,78	0,02	1,05	0,50	4,30	3,40	0,10				0,88	0,00	99,94
192A	73,16	0,30	12,93			2,10	0,02	1,16	0,50	5,66	3,44	0,05				0,74	0,00	100,06
529	74,93	0,11	13,75	0,90	0,07	0,89	0,01	0,54	0,31	5,00	2,37	0,01		0,01	0,28		1,60	99,89
1006	75,94	0,18	11,31			0,97	0,06	0,32	1,97	4,74	3,43	0,01				0,57	0,00	99,50
Borovitza complex																		
334	68,90	0,33	13,59	2,42	0,80	3,00	0,05	2,56	1,10	5,57	2,53	0,32	0,02	0,01	0,30		1,30	99,80
407	76,70	0,15	11,20	0,55	0,28	0,78	0,02	0,70	0,32	8,32	0,52	0,08	0,02	0,01	0,10		0,93	99,90
523	66,00	0,39	16,30	1,97	0,33	2,12	0,02	2,60	0,94	6,86	3,18	0,28	0,04	0,02	0,38		0,60	99,91
525	63,85	0,37	14,86	3,10	0,40	3,22	0,05	2,97	1,50	4,57	1,40	0,22		0,02	2,43	0,00	4,10	99,84
526	64,24	0,33	15,39	2,58	0,68	3,03	0,05	2,61	1,59	4,47	2,61	0,20		0,01	1,68	0,00	3,20	99,64

in the distribution of the major oxides. This supports the idea about common source (magma chamber) of the initial magma. The trends of distribution on the K₂O/SiO₂ dispose mainly in the field of the shoshonite series.

Tri Mogili complex is characterized with higher values for potassium and even more higher ones for sodium. In the case of the more basic varieties the distribution trend of potassium on the diagram falls in the field of the high-potassium subalkaline series. This complex is characterized with highest

total alkalinity in comparison with the rest dyke complexes and all volcanic magmatic complexes from the late extensional stage of Eastern Rhodopes (Georgiev, Milovanov, 2003, 2004; Георгиев, Милованов, 2005).

References

- Dabovski, C., Harkovska, A., Kamenov, B., Mavrudchiev, B., Stanisheva-Vassileva, G., Yanev, Y. 1991. A geodynamic model of the Alpine magmatism in Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 21, 4, 3-15.
- Georgiev, V. 2004. Late Alpine geodynamics and metallogeny of the Morava-Rhodope zone. – *Annual Scientific Conference "Geology 2004", Proceedings*, 18-20.
- Georgiev, V. 2005. Late Alpine tectonic and magmatism in the Eastern Rhodopes. – *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 58, 1, 47-52.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2003. Petrochemical features of the magmatic activity in the Momchilgrad depression (Eastern Rhodopes). – *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 56, 9, 27-32.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2004. Petrochemical features of the Late Alpine late extensional magmatism in the Eastern Rhodopes. – *Ann. Univ. Min. Geol.*, 47, Part 1, 63-68.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2005. Late alpine magmatic groups and complexes in the Eastern Rhodopes. – *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 58, 1, 53-58.
- Ivanov, Z. 2000. Tectonic position, structure and tectonic evolution of Rhodope massif. – *Guide, ABCD-GEODE, Bulgaria*, 1-4.
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Srekeisen, A., Zanetin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. – *J. Petrology*, 30, 1299-1312.
- Боянов, И., Маврудчиев, Б. 1961. Палеогенският магматизъм в Североизточните Родопи. Част I. (Стратиграфски, литоложки и петроложки бележки за палеогена). – *Год. Соф. у-т, ГГФ*, 54, кн. 2 - геол., 113-157.
- Георгиев, В., П. Милованов. 2005. Петрохимични особености на палеогенския късноекстензионен магматизъм в Златоустовската депресия, Белоречкия и Кесибирския куполи (Източни Родопи). – *Ann. Univ. Min. and Geol.*, 48, Part 1, 35-40.
- Георгиев, В., П. Милованов. 2006а. Магмени литостратиграфски единици в Източните Родопи. II. Сърнишка група. – *Минно дело и геология*, 61, 5, 36-40.
- Георгиев, В., П. Милованов. 2006б. Магмени литостратиграфски единици в Източните Родопи. III. Чамдеренска група. – *Минно дело и геология*, 61, 8, 34-37.
- Иванов, Р. 1960. Магматизмът в Източнородопското палеогеново понижение. I. Геология. – *Труд. геол. Бълг., Сер. геохим. и полезни изкоп.*, 1, 312-387.

Recommended for publication by the Department of Mineralogy and Petrography, Faculty of Geology and Prospecting

DISTRIBUTION OF SOME RARE ELEMENTS IN THE CHAM DERE PALEOGENE MAGMATIC GROUP, EASTERN RHODOPE

Vladimir Georgiev¹, Petar Milovanov²

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; vladogeo@geology.bas.bg

²Geology and Geophysics Ltd.

ABSTRACT. The Cham Dere Group is composed of the acidic magmatic rocks from the late extensional Paleogene magmatism in the Northeastern Rhodopean Depression. This group includes the sequentially formed complexes as follows: Borovitsa rhyolite, Bryagovo rhyolite, Panichkovo trachyrhyolite, Murgен trachyrhyolite, Gradishte trachyrhyodacite, and Tri Mogili dyke ones.

These complexes are characterized with close contents of the studied rare elements (Rb, Nb, Y, Zr, Sr), which supports the assumption that the rocks are a result of the evolution of common magma chamber.

The results from the diagrams constructed to evaluate the type of tectonic environment are rather contradictory (Nb-Y; Rb-Y+Nd; Y-SiO₂; Nb-SiO₂; Rb/Zr-SiO₂). This is, probably due to the fact that these diagrams do not count for regions of extension as is accepted for the Rhodopean Massif. From the results obtained it can be concluded that using only one type of diagram to determine the tectonic environment is incorrect and unreliable.

РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА НЯКОИ РЕДКИ ЕЛЕМЕНТИ В ПАЛЕОГЕНСКАТА ЧАМДЕРЕНСКА МАГМЕНА ГРУПА В ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ

Владимир Георгиев¹, Петър Милованов²

¹Геологически институт, БАН, София 1113; vladogeo@geology.bas.bg

²Геология и геофизика АД

РЕЗЮМЕ. Чамдеренската група обединява киселите магмени скали на късноекстензионния палеогенски магматизъм в Североизточнородопската депресия. Тя включва последователно формираните Боровишки риолитов, Бряговски риолитов, Паничковски трахириолитов, Мургенски трахириолитов, Градищенски трахириолитов и Тримогилски дайков комплекси.

Тези комплекси се характеризират с близки съдържанията на изследваните редки елементи (Rb, Nb, Y, Zr, Sr), което подкрепя предположението, че те са резултат на еволюцията на една обща магмена камера.

Резултатите от дискриминационните диаграми за типа на тектонската обстановка са силно противотечиви (Nb-Y; Rb-Y+Nd; Rb-SiO₂; Y-SiO₂; Nb-SiO₂; Rb/Zr-SiO₂). Това вероятно се дължи на факта, че те не отчитат областите на екстензия, за каквато се възприема Родопският масив. От получените резултати може да се направи извода, че определянето на типа на тектонската обстановка само по един тип диаграма е ненадежно и некоректно.

Geological setting

Cham Dere magmatic Group includes the acidic volcanic rocks of the Northeastern Rhodopean Depression (Borovitsa volcanic region according to Иванов, 1960). This depression has formed during Paleogene in the region between the Central Rhodopean Dome and the Harmanli Block. Its origination has been connected with the processes of extension and exhumation of the metamorphic core complexes in the Rhodopean Massif (Ivanov, 2000; Georgiev, 2004, 2005).

Terrigenous and carbonate rocks have deposited at the base of the depression during Paleocene-Eocene. At the end of Priabonian and during Rupelian the depression has been an arena of intensive volcanic activity. The initial magmatic acts in the region (Priabonian-Lower Rupelian) are characterized by medium acidic composition (Sumitsa Group; Георгиев, Милованов, 2006а). The later phases (Rupelian) are of acidic composition (Cham Dere acidic Group; Георгиев, Милованов,

2006b). The materials of Cham Dere Group display differentiated areal of distribution and it as been proposed that they are a result of the activity of one magmatic chamber (Georgiev, Milovanov, 2005).

The magmatic rocks of Cham Dere Group fill up the Borovitsa caldera (volcano-tectonic depression; Иванов, 1960). Also, several extrusions, tens of dykes and rare tuff spots crop out beyond the caldera boundaries (Fig. 1). They are localized predominantly in east-northeast direction from the caldera and mainly along the Bukovitsa fault sheaf (Topolovo-Pilashevo fault belt, Боянов, Маврудчиев, 1961).

The following complexes have been distinguished in Cham Dere magmatic group (Георгиев, Милованов, 2006б): Borovitsa rhyolite, Panichkovo trachyrhyolite, Murgен trachyrhyolite, Gradishte trachyrhyodacite, Tri Mogili dyke, and Bryagovo rhyolite ones. The rocks of Borovitsa, Murgен, and

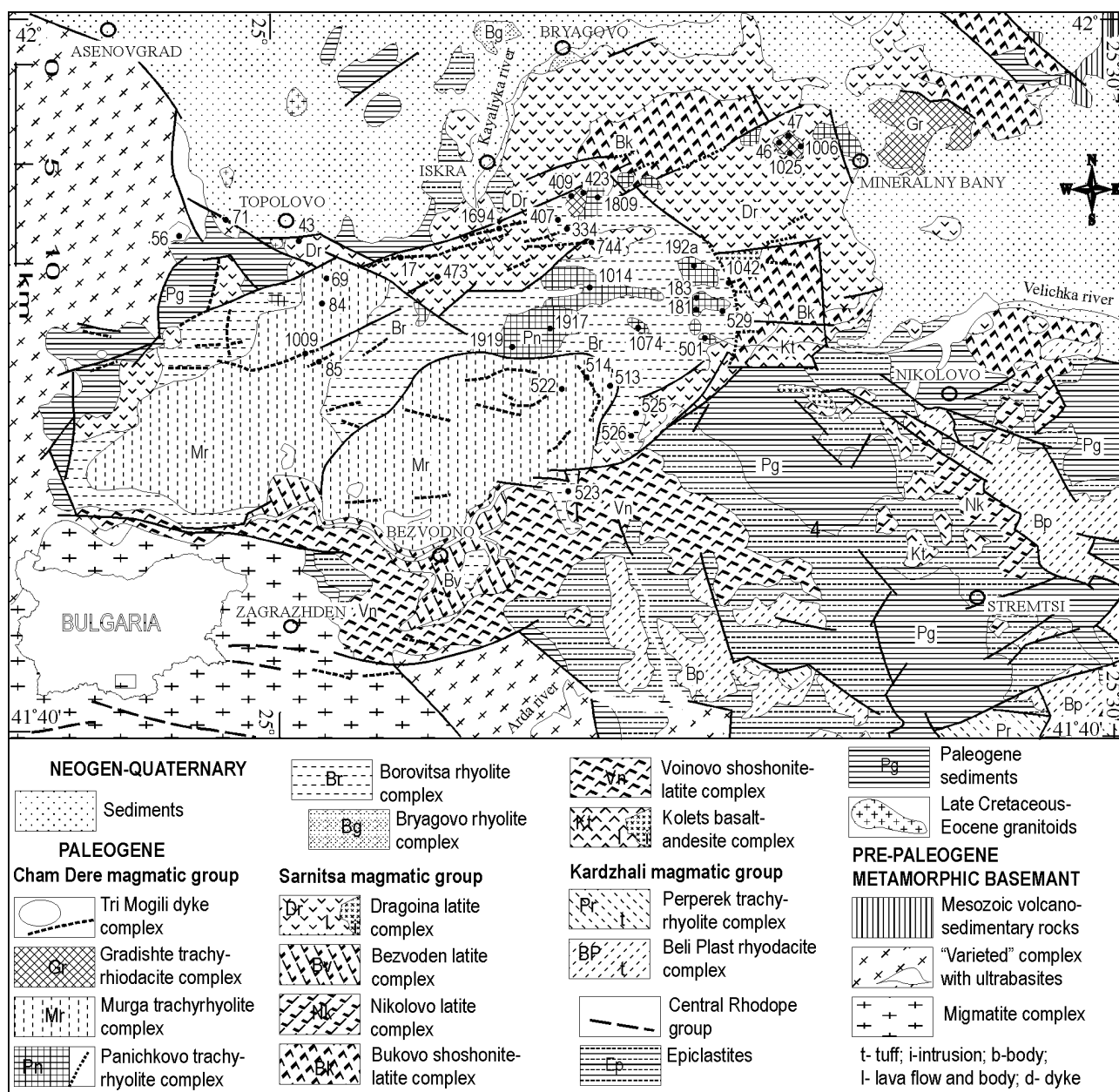


Fig. 1. Map of magmatic complexes in the Northeastern Rhodope Depression

Bryagovo complexes display explosive facies and those of Panichkovo, Gradishte, and Tri Mogili – effusive and subvolcanic ones.

Results

Significant differences in the distribution of the studied rare elements (Rb, Nb, Y, Zr, Sr) are not registered for the specified complexes of Cham Dere group (Fig. 2) Only Borovitsa complex displays a little bit higher contents of strontium.

The results obtained for the character of the tectonic environment by use of the constructed diagrams are contradictory and under discussion (Fig. 3). The points even from one and the same complex fall in fields of different tectonic environments. A very rough tendency is observed for prevalence of points in the fields of the collisional and

syncollisional granites. For Surnitsa medium acidic magmatic group from the same depression the tendency is different. In this case the points fall in the fields of the within plate granites.

Discussion

The rocks of the separate complexes of Cham Dere magmatic Group do not differ significantly in respect to contents of the studied rare elements (Rb, Nb, Y, Zr, Sr). The obtained data support the assumption that the magmatic complexes of Surnitsa Group have a common origin and are result of a separate phase from the development of one magma chamber (Георгиев, Милованов, 20066).

On the constructed diagrams the results for the type of tectonic environment are very contradictory and mutually excluding. This is probably due to the fact that it was not

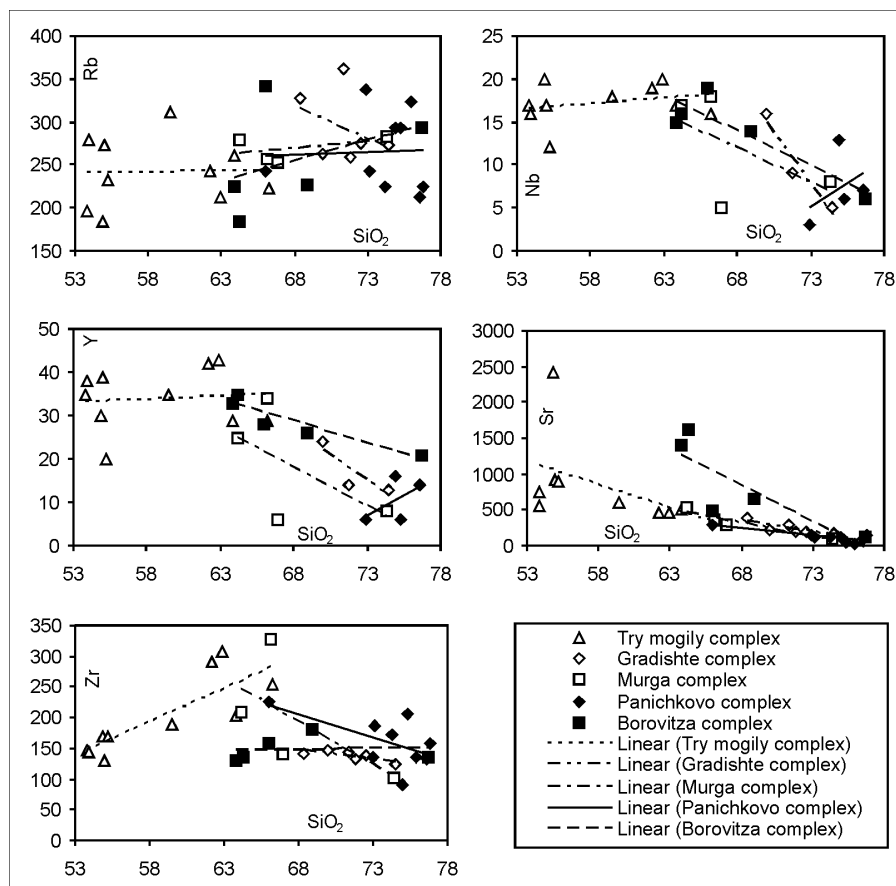


Fig. 2. Diagrams showing distribution of Rb, Nb, Y, Zr, Sr in rocks from the Cham Dere Group

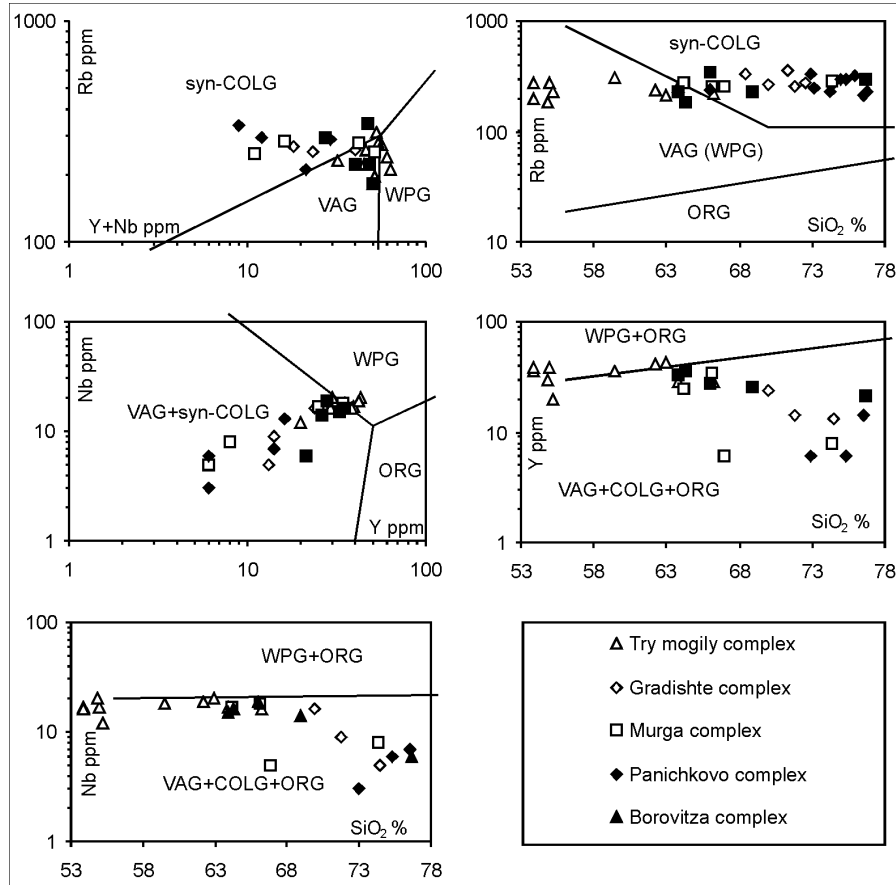


Fig. 3. Discrimination diagrams for the tectonic environment of the Cham Dere Group (according to Pearce et al., 1984 ; Harris et al., 1986)

Table 1
Representative analyses of Chan Dere group

No	SiO ₂	Rb	Nb	Y	Sr	Zr
Try mogily complex						
514	53,80	197	17	35	567	148
17a	54,97	273	17	39	917	130
1009	62,94	212	20	43	470	307
56	62,20	242	19	42	457	290
744	59,49	311	18	35	600	189
85	63,86	260	17	29	500	202
1416	66,23	223	16	29	390	253
473	54,87	184	20	30	2420	168
43	55,20	232	12	20	897	168
1694	53,89	280	16	38	748	145
Gradishte complex						
409	74,50	272	5	13	171	124
423	71,80	258	9	14	201	133
1014	69,96	262	16	24	215	146
47	68,36	328			387	142
48	71,32	362			283	144
1025	72,50	274			203	138
Murga complex						
513	74,38	284	8	8	101	103
522	66,90	252	5	6	302	142
69	66,16	257	18	34	370	327
84	64,21	279	17	25	530	210
Panichkovo complex						
1917	72,96	337	3	6	153	136
1919	76,55	213	7	14	101	132
1809	75,30	294	6	6	41	205
1042	66,00	242			302	227
181	74,23	225			123	173
183	76,84	225			134	158
192	73,16	243			112	187
529	74,93	293	13	16	117	90
1006	75,94	323			30	136
Borovitza complex						
334	68,90	226	14	26	655	181
407	76,70	294	6	21	109	135
523	66,00	341	19	28	495	157
525	63,85	225	15	33	1403	131
526	64,24	185	16	35	1611	136

counted for the regions of extension as is accepted for the Rhodopean Massif. Yanev (1998) has determined syn-COLD type but using only the Rb/SiO₂ diagram and studying only the acidic rocks in Eastern Rhodopes. From the obtain results in

this study it can be concluded that determining the type of tectonic environment by use of only one diagram is unreliable an incorrect, especially for the case of the Rhodope massif.

References

- Georgiev, V. 2004. Late Alpine geodynamics and metallogeny of the Morava-Rhodope zone. – *Annual scientific conference "Geology 2004", Proceedings*, 18-20.
- Georgiev, V. 2005. Late Alpine tectonic and magmatism in the Eastern Phodopes. – *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 58, 1, 47-52.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2003. Petrochemical features of the magmatic activity in the Momchilgrad depression (Eastern Rhodopes). – *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 56, 9, 27-32.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2004. Petrochemical features of the Late Alpine late extensional magmatism in the Eastern Rhodopes. – *Ann. Univ. Min. and Geol.*, 47, Part 1, 63-68.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2005. Late alpine magmatic groups and complexes in the Eastern Rhodopes. – *C. R. Acad. bulg. Sci.*, 58, 1, 53-58.
- Ivanov, Z. 2000. Tectonic position, structure and tectonic evolution of Rhodope massif. – *Guide, ABCD-GEODE, Bulgaria*, 1-4.
- Pearce, J., N. Harris, A. Tindle. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interperetation of granitic rocks. – *J. Petrology*, 25, 956-983.
- Harris N., J. Pearce, A. Tindle. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. – In: *Collision Tectonics* (Eds Coward, M., Ries, A.), Geol. Soc. Sp. Publ., Blackwell Scient. Publ., Oxford. 19, 67-81.
- Yanev, Y. 1998. Petrology of the Eastern Rhodopes Paleogene Acid Volcanics, Bulgaria. – *Acta Volcanol.*, 10, 2, 265-277.
- Боянов, И., Б. Маврудчиев. 1961. Палеогенският магматизъм в Североизточните Родопи. Част I. (Стратиграфски, литоложки и петроложки бележки за палеогена). – *Год. Соф. у-т, Геол.-геогр. фак.*, 54, кн. 2 - геол., 113-157.
- Георгиев, В., П. Милованов. 2005. Петрохимични особености на палеогенския късноекстензионен магматизъм в Златоустовската депресия, Белоречкия и Кесибирския куполи (Източни Родопи). – *Ann. Univ. Min. Geol.*, 48, Part 1, 35-40.
- Георгиев, В., П. Милованов. 2006а. Магмени литостратиграфски единици в Източните Родопи. II. Сърнишка група. – *Минно дело и геология*, 61, 5, 36-40.
- Георгиев, В., П. Милованов. 2006б. Магмени литостратиграфски единици в Източните Родопи. III. Чамдеренска група. – *Минно дело и геология*, 61, 8, 34-37.
- Иванов, Р. 1960. Магматизмът в Източнородопското палеогеново понижение. I. Геология. – *Труд. геол. България, Сер. геохим. и полезни изкоп.*, 1, 312-387.

NOTES AND INTERPRETATION ON THE 'THRACIAN STONE' IN ANCIENT SOURCES

Ruslan I. Kostov

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

ABSTRACT. Some names of stones have been mentioned in ancient sources, such as the 'Thracia stone' or 'spinus' ('spinos'), which are impossible to be determined from their descriptions to which mineral species or rock they should be referred. Beside the interpretation of the 'Thracian stone' in ancient Greek and Roman sources as some sort of inflammable raw material (coal, jet etc.), a text from Pliny's '*Natural History*' points out to another interpretation related to green stones (minerals, rocks) including heliotrope. This green variety of jasper (jasperoid) with red spots has been used on the Balkans since the Chalcolithic period, and in the Eastern Rhodopes mountain region on the territory of Bulgaria some artifacts made of this local prestigious gemmological material have been found, which have been traded in different directions.

БЕЛЕЖКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЪРХУ "ТРАКИЙСКИЯ КАМЪК" ПО АНТИЧНИ ИЗВОРИ

Руслан И. Костов

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

РЕЗЮМЕ. Някои названия на камъни са били отбелязани в антични извори като "Тракийски камък" или "спинос", за които е невъзможно да се даде характеристика от техните описания за даден минерален вид или скала. Освен интерпретацията на "камъка от Тракия" от древногръцките и римските извори като някакъв вид запалимо природно вещество (въглища, гагат и др.) един текст от "Естествената история" на Плиний Стари дава възможност за друга интерпретация, свързана със зелени минерали или скали, включваща и хелиотроп. Тази зелена разновидност на ясписа (ясписоида) с червени петна е била използвана на Балканите още от халколитната епоха, като на територията на България в района на Източните Родопи са намерени артефакти от този местен престижен геммологичен материал, с който се е търгувало в различни посоки.

Introduction

The exact meaning of the 'Thracian stone' or stone from Thrace listed in some ancient sources is not known and has been a subject of different interpretations. Among the few Thracian words to be interpreted, 'stone' has the root *asa(s)* or *as(a)m* in the sense of 'stony' (compare the Old Indian *as'man* for stone, heaven; Avestian *asman-* 'the same' or Pelasgian *asáminthos* 'stone'). Sabazios is a Thracian deity, first identified with 'stone'. The 'Thracian stone' has been mentioned in the works of a lot of ancient authors as Simplicius (VI c. B.C.), Pseudo-Aristotle (III c. B.C.), Nicander (II c. B.C.), Dioscorides (I c. B.C.), Gaius Plinius Secundus, better known as Pliny the Elder (23-79), Galen (c. 129-199) and Simplicius (V-VI c.).

The Greek sources

Pseudo-Aristotle (an unknown Greek author from about III c. B.C.) in his famous paradoxographical work '*De auscultationibus mirabilibus*' gives the following probably earliest reference to the stone from Thrace: "In Bytina in Thrace in a shaft a mineral has been found called 'spinus', from which fire appears" (Pseudo-Aristotelis, 1987, p. 250, 832b, 33). He continues further on with the descriptions of the properties of the stone: "In Thrace, as they say, there is a stone, called 'spinus', if splitted and pieced together again it glows, as if coal; if you expose it to the sunshine and pour over

it water, it will ignite. Similar is the behavior of the Marei stone" (Pseudo-Aristotelis, 1987, p. 251, 833a, 41; comp. *De Mirab. Auscult.*, vol. i., p. 1162).

In this fragment a stone from Thrace has been named as 'spinus'. This name can be found in the first 'mineralogy' by the Greek philosopher Theophrastus of Eresus on Lesbos (Theophrastus Eresius Melanti or Tirtamus of Eres; c. 370-287 B.C.) '*On Stones*' (*Περὶ λίθων*; c. 306 or 314 B.C.), which has been written under the influence of the ideas of his teacher Aristotle (Kostov, 1988; 2003): "being taken from the mine, it was cut up, and put together in the sun, when it took fire spontaneously, and especially if moistened previously" (Theophrastus, 2005, *On Stones*, II, 13; Carey, Richards, 1956). The stone 'spinus' has been classified among the combustible minerals and according to Moore (1859, p. 150) was either a pyrite or more probable – some sort of an aluminous shale.

Theophrastus discusses the nature of 'fire-stones' from some places in Thrace: "some of the more frangible are broken into coals, and are more durable; as those in a mine near Bina, and those which the river, brings down; for they take fire when coals are placed upon them, and burn as long as one continues to blow them, and after they expire may again be kindled, so that they can be used for a long time, but their odor is very strong and disagreeable" (Theophrastus, 2005, *On Stones*, 12; 'spinus' and the 'Thracian stone' are the same – comment in Hill, 1746, notes, p. 54; cit. after Moore, 1859).

Nicander (Nikandros; middle of the II c. B.C.) is a Greek poet, who mentions the Thracian stone (in the form 'Threicius') in his work '*Theriaca*' ('Against animal's poisons'). The Thracian stone, which Nicander (*Theriac.*, v. 45) directs to be burned together with gagates, sulphur, bitumen, and other substances which during their combustion give forth a powerful scent, in order to drive away serpents, was brought, as that author and Dioscorides' inform us, from the Thracian river Pontus (Moore, 1859, p. 146-147).

Dioscorides (flourished about A.D. 60) is a Greek writer. He ascribes the same properties of the Thracian stone as those of *gagates* (*Lib.* v., c. 146; compare Pliny's '*Natural History*', vol. 36, 34), thus the interpretation of both pointing out to some sort of coal (*gagates* is jet – a black hard coal used as gemmological and ornamental material, but in a broader sense – artifacts made by different types of coal; the name is for the river Gages in Ancient Lycia). Such property of the stone of being kindled by water and extinguished by oil has been assigned by Dioscorides also to asphaltum (Moore, 1859, p. 147). According to Dioscorides, the Thracian stone is bred in a certain river of Scythia and the name of it is Pontus (one opportunity is probably on the west coast of the Black Sea).

Summing up the earliest sources on the stone from Thrace the domination of the coal or jet interpretation has to be considered. From a geographical point of view its origin has been located in different cases on the Balkans, north of the Black Sea or in Asia Minor, and as well as in Media and India.

This interpretation of the Thracian stone has been used in later Medieval lapidaries and up to Modern times: "The Thracian stone, another species of *gagates*, may be formed of black bitumen or black naphtha; this also burns in water, and is put out by oil" (Rulandus, 1991). That the Thracian stone is bituminous is thought to be shown by its smell, its substance and as well as its black colour. It is supposed to be squalid, crusty and light. In another treatise we find that the Lapis Thracias (Thracus, Threicius) "is found in that river of Scythia which is called Pontus, and has the quality of *gagates*; it burns in water, and is extinguished in oil, like bitumen".

In the Medieval treatise on the techniques of painting '*Mappae Clavicula*' ('Keys to Painting') known since the IX century and from copies in the X and XII century one can find the following ideas about the origin of some gem 'stones' applied in jewellery: "The stone onyx appears in the rocks...; the Thracian stone appears everywhere..." (Haritonovich, 1982; cit. after *Mappae Clavicula.*, 1974. 163, 138).

In the work '*De Natura fossilium*' (1546) of the Medieval scholar Agricola (1518-1575), also strongly influenced by ancient sources and mainly by Pliny the Elder, the 'spinus' stone has been interpreted as jet or under question to schist (Agricola, 1958). He also mentions the Thracia stone: "The gem that some call *thracia* from the place where it occurs and others *pontica* from a river of the same district I believe to be related to agate. These gems contain likenesses of mountains and valleys. They have red and dark lines running through them and are decorated with star-like drops of the same color. They may be green or pale green and are nontransparent. They are distinguished from heliotrope which has bloodred veins and from prase which has blood-red drops similar to

stars. When they lack veins and drops they are distinguished from green translucent jasper by their lighter green colour" (chapter 6).

Interpretations according to Pliny the Elder

Pliny's '*Natural History*' is the most important source of information on the ancient knowledge in the field of geological sciences including the use and properties of minerals, rocks, metals and different 'stones' and 'earths' (Kostov, 1988; 2003).

Chapter 30 of Book 33 of Pliny's '*Natural History*' is devoted to the marvelous operations of Nature in soldering metallic substances, and bringing them to a state of perfection: "For smelting copper and iron, pine-wood is the best, Egyptian papyrus being also very good for the purpose. Gold is melted most easily with a fire made of chaff. Limestone and Thracian stone are ignited by the agency of water, this last being extinguished by the application of oil. Fire, however, is extinguished most readily by the application of vinegar, viscus (mistletoe), and unboiled eggs. Earth will under no circumstance ignite. When charcoal has been once quenched, and then again ignited, it gives out a greater heat than before". The cited text follows the concept of the earlier Greek sources about the Thracian stone. But in a similar way has been described also the jet.

Chapter 34 of Book 36 of Pliny's '*Natural History*' is devoted to jet (*gagates*) and its six remedies, made of it: "Gagates is a stone, so called from Gages, the name of a town and river in Lycia. It is asserted, too, that at Leucolla the sea throws it up, and that it is found over a space twelve stadia in extent. It is black, smooth, light, and porous, differs but little from wood in appearance (in the sense of lignite or brown coal), is of a brittle texture, and emits a disagreeable odour when rubbed. Marks made upon pottery with this stone cannot be effaced. When burnt, it gives out a sulphureous smell; and it is a singular fact, that the application of water ignites it, while that of oil quenches it. The fumes of it, burnt, keep serpents at a distance, and dispel hysterical affections: they detect a tendency also to epilepsy, and act as a test of virginity. A decoction of this stone in wine is curative of tooth-ache; and, in combination with wax, it is good for scrofula. The magicians, it is said, make use of *gagates* in the practice of what they call axinomancy; and they assure us that it will be sure not to burn, if the thing is about to happen as the party desires". The text gives a broad view to a number of superstitions related to the curative and therapeutic role of different 'stones' in ancient times.

In chapter 68 of Book 37 of Pliny's '*Natural History*' according to the alphabetical list of 'minerals' ('stones') the following minerals have been described: *trichrus* (the three-coloured stone) from Africa, *thelyrrhizos* (interpretation 'female heart'?), *thelycardios* ('female heart'?), *thracia*, *tephrites* (crescent-shaped) and *tecolithos* (of an olive colour). The full Latin text regarding the Thracian stone is: "*Thracia trium generum est, livida aut pallidior, in tertio guttis sanguineis*". The English translation of the Latin text appears as it follows: "Of Thracia there are three varieties; a green stone, one of a more pallid (pale) colour, and a third with spots like drops of blood". *Livida* in Latin in some cases has been attributed to a bluish or bluish-gray colour.

The analysis of the text points out to the opportunity of a new interpretation of the Thracian stone including a group of three green minerals or rocks. Even now-a-days in archaeological or other publications there are usually a number of non-determined from a mineralogical and petrographical point of view artifacts denoted only as 'greenstones'. If the first two green minerals or rocks (or correspondent varieties) are difficult to be identified (among the most wide spread green minerals and rocks, used as raw material for different artifacts in the Mediterranean region can be listed talc, malachite, chrysocolla, ophiocalcite, serpentine minerals and serpentinite, volcanic tuff, epidote, actinolite, diopside, vesuvianite, aventurine quartz, green chalcedony, green jasper or the rare nephrite and jadeite), the third one is well known to mineralogists – the red blood-like spots appear on a dark green background only in heliotrope.

Heliotrope is better to be classified as a colour variety of jasper as it is an aggregate. In some mineralogical or gemmological texts heliotrope has been described as a variety of chalcedony (a fiber type of quartz which forms botryoidal aggregates or banded structures known as agates). Heliotrope is known also as 'bloodstone', or 'blood jasper'. As this colour variety is non-transparent and is build by phases with a different mineral composition it has to be listed as one of the varieties of jasper or jasperoid (for the systematic of jasper, jasperoid and jasper-like rocks see Kostov, 2006). Heliotrope as a metasomatic product is found in volcanic areas together with chalcedony – lapidary material is known from India, China, Pakistan, the USA, Brazil and Australia.

Heliotrope appears in chapter 60 of Book 37 of Pliny's '*Natural History*', who describes its origin from Ethiopia, Africa and Cyprus. The '*heliotropum*' is supposed to be of a leek-green colour with blood-red spots or veinlets. Its name is derived from believes that the stone reflects the sun rays when soaked in water: "It has been thus named, from the circumstance that, if placed in a vessel of water and exposed to the full light of the sun, it changes to a reflected colour like that of blood; this being the case with the stone of Ethiopia more particularly. Out of the water, too, it reflects the figure of the sun like a mirror, and it discovers eclipses of that luminary by showing the moon passing over its disk. In the use of this stone, also, we have a most glaring illustration of the impudent effrontery of the adepts in magic, for they say that, if it is combined with the plant heliotropium, and certain incantations are then repeated over it, it will render the person invisible who carries it about him".

The same properties of heliotrope have been mentioned earlier in chapter 34 of Book 37 in the description of the '*prasiu*' (prase): "There are numerous other kinds also of green stones. To the more common class belongs prasiu; one variety of which is disfigured with spots like blood, while another kind is marked with three streaks of white. To all these stones chrysoprasus is preferred, which is also similar to the colouring matter of the leek, but varies in tint between topazos and gold". It seems that Pliny feels in charge to mention all names of 'stones', known at the time, despite the fact that in cases they duplicate their properties. His knowledge on many ancient sources, a lot of which have been lost in the past, is important in respect of the study of ancient 'mineralogy' and the sources of the raw materials.

Heliotrope has been used as a material in glyptic art in the ancient and early medieval period. Its use is highly esteemed by the gnostics in their magical gems mainly from the 2-3 c. A.D. period (Michel, 2001, fig. 7, 13, 19, 29, 34, 35, 38, 46, 51, 53, 55, and the cited comparative material in different collections and museums).

In Book 1 (part 2) of the '*Occult Philosophy*' of Heinrich Cornelius Agrippa (1486-1535) one can find the following description of heliotrope: "Also the Stone Heliotropion [heliotrope] green like the Jasper, or Emerald [emerald], beset with red specks [*i.e.* bloodstone], makes a man constant, renowned, and famous, also it conduceth to long life: And the vertue of it indeed is most wonderfull upon the beams of the Sun, which it is said to turn into blood (*i.e.*) to appear of the colour of blood, as if the Sun were eclipsed" (Agrippa, 2001; English digital edition, 2000).

Heliotrope has been identified since the Chalcolithic period on the territory of Bulgaria. A prehistoric workshop of stone artifacts (including heliotrope) has been found at the village of Sedlare near Momchilgrad in the Eastern Rhodopes (Raduntcheva, 2003). This gemmological material has been listed among the gem minerals and materials on the territory of Bulgaria from the same region (Petrussenko, Kostov, 1992). The best heliotrope in the Caucasus area comes from the Idjevan deposit in Armenia, as well as from the Todan and other deposits in near-by Azerbaijan.

No other information has been reported on the eventual deposit or deposits of heliotrope (bloodstone), which has been highly evaluated not only in ancient, but also in later medieval times. The Eastern Rhodopes may have been one of the earliest sources of this gemmological material in South-East Europe.

References

- Agricola, G. 1958. Die Mineralien. – In: *De natura fossilium libri X (Ausgewählte Werke, Bd. IV)*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.
- Agrippa, H. C. 2001. *Occult Philosophy*. Book 1. Aratron, Sofia, 198 p. (in Bulgarian)
- Carey, E. R., J. F. C. Richards. 1956. *Theophrastus on Stones (Greek Text, English Translation and Commentary)*. Ohio State University Press, Columbus, Ohio, 238 p.
- Haritonovich, D. E. 1982. The Medieval master and his imagination about things. – In: *Hudozhestvennii Yazik Srednevekov'ya (Art Language in the Middle Ages)*. Nauka, Moscow (in Russian).
- Hill, J. 1746. *Theophrastus's History of Stones*. London.
- Kostov, R. I. 1988. A brief review of gemmological systematics. – *Geoch., Mineral. and Petrol.*, 25, 46-69.
- Kostov, R. I. 2003. *Precious Minerals: Testing, Distribution, Cutting, History and Application (Gemmology)*. Sofia-Moscow, Pensoft, X, 453 p. (in Bulgarian)
- Kostov, R. I. 2006. Review on the mineralogical systematics of jasper and related rocks. – *Geology and Mineral Resources*, 13, 9, 8-12 (in Bulgarian).
- Mapae Clavicula. A Little Key to the World of Medieval Painting*. 1974. Transl. from Latin with an Introduction and Notes by J. G. Hawthorne, C. S. Smith. Philadelphia.

- Michel, S. 2001. *Bunte Steine – Dunkle Bilder: "Magische Gemmen"*. Biering & Brinkmann, München, 142 S., 24 Taf.
- Moore, N. F. 1859. *Ancient Mineralogy; or, An Inquiry Respecting Mineral Substances Mentioned by the Ancients: with Occasional Remarks on the Uses to Which They Were Applied*. Harper & Brothers, New York, 250 p.
- Pliny the Elder. *Naturalis Historia* (Ed. by K. F. T. Mayhoff); English Transl. (Ed. by J. Bostock, H. T. Riley); <http://www.perseus.tufts.edu/cgi-bin/ptext?doc=Perseus:text:1999.02.0138:toc>
- Petrussenko, S. I., R. I. Kostov. 1992. *The Precious and Decorative Minerals in Bulgaria*. Publishing House of the Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, 90 p. (in Bulgarian with a Russian and English abstract)
- Pseudo-Aristotelis. 1987. De auscultationibus mirabilibus. – *Vestnik Drevnei Istorii*, 3, 245-252; 4, 229-251 (in Russian).
- Raduntcheva, A. 2003. *Late Eneolithic Society in the Bulgarian Lands. – Razkopki i Prouchvaniya, XXXII*, Sofia, 312 p. (in Bulgarian)
- Rulandus, M. 1991. *A Lexicon of Alchemy*. The Banton Press, 470 p.
- Theophrastus. 2005. On stones. – *Vestnik Drevnei Istorii*, 3, 306-331 (in Russian).

Recommended for publication by the Department of Mineralogy and Petrography, Faculty of Geology and Prospecting

NEW VIEW ON THE STRUCTURAL PATTERN OF METOHIYA BASIN AND ITS MARGIN

Milosav Simić¹, Antonije Antonović²

¹Dundee plemeniti metali, Zeleni Bulevar 27/1, 19210 Bor, Serbia; m.simic@dundee.co.yu

²Naučni savetnik, ul. Gogoljeva br. 132, 11000 Beograd, Serbia

*Never before our imagination could be
measured with inventiveness of nature.
Richard Miller - "Nemesis", 1994*

ABSTRACT. The region of Metohian depression and its complex geological margin is a morphotectonic entity formed over complicated structures of the basement. The first glance of the orographic-geological map or satellite image shows the hexagonal shape of the depression in clear contrast to the linear structure of the Vardar Zone. Sedimentation of Neogene deposits began in a trough whose "main shape was finished", and the depression itself had been formed and modified through a long period of time (Cvijić, 1924). This is indicated by slight deformations of Miocene deposits, somewhat stronger along the rim of the basin, and relatively great thickness of the Neogene in general, uniformity in lithological composition and other characters of deposits.

Geological knowledge of Metohian depression and its margin, viewed through the reference data, is characterised by the missing links of many facts and the fragmentation. Also, for some reason, a more comprehensive and reliable idea of the geological relationships or the evolution is difficult to conceive. Many contradictions in interpretations of the make-up and structure of the region are so great that inferences that may be drawn from the known facts are unreliable or relative.

This work will present the idea of Metohiya basin as a ring structure like one resulting from a meteorite impact. In view of its form (morphology) and some indirect indications, there are few conclusive evidences that it is an impact structure of about 50 km in diameter. Why? "Sometimes one should know what to look for to be able to see it," writes Richard Miller in The "Nemesis" (1994). From this standpoint, so far actual facts of a certainly strong impact neither have been viewed nor their evidence searched from any aspect (atomic-molecular, mineralogical, crystallographic, petrochemical, geoelectrical, structural, etc.). Structures in the marginal parts of Metohiya basin, which have different strike directions (NW-SE, NE-SW, ENE-WSW, E-W, N-S), may be well interpreted should we accept that they border an impact ring structure.

НОВ ПОГЛЕД ВЪРХУ СТРУКТУРНИЯ МОТИВ НА БАСЕЙНА МЕТОХИЯ И НЕГОВАТА ОКРАЙНИНА

М. Симић, А. Антоновић

РЕЗЮМЕ. Региона на депресия Метохия със своите сложни в геоложко отношение крайнини е морфотектонска единица, формирана върху структурно усложнен фундамент. От пръв поглед върху геолого-орографска карта или сателитно изображение на областта се долавя хексагоналната форма на депресията, силно контрастираща на линейната морфоструктура на Вардарската зона. Отлагането на неогенски седименти започва в трогов басейн, чиято морфология е „вече завършена“, а самата депресия се формира в продължителен период от геоложко време (Цвијић, 1924). Индикация за това се леките деформации на миоценовите седименти, по-интензивни в бордовите части на басейна, относително голямата мощност на неогена като цяло, издръжаността в литофациалния състав и др. особености на седиментите.

Геоложкото изучаване на Метошката депресия и анализа на литературните данни показват че са налице множество неизяснени въпроси, фрагментираност на данните и като цяло – липса на единен подход. Поради това е и трудно създаването на цялостна идея за нейната геоложка еволюция. Множество противоречия в досегашните интерпретации на състава и структурата на региона не позволяват да се направят надеждни и адекватни изводи.

В настоящата работа се представя идеята, че депресията в област Метохия е рингова/ пръстеновидна структура с импактен произход. Предвид нейната морфология и някои други непреки индикации, засега имаме малко убедителни доказателства за наличието на импактна структура с диаметър около 50 км. Защо? „Понякога е важно да се знае какво се търси, за да може да се види“ пише Ричард Милер в „Nemesis“ (1994). Досега произходът на Метошката депресия не е бил разглеждан в такъв аспект и не са търсени доказателства на нито едно аналитично ниво (атомно-молекулно, минераложко, кристалографско, петрохимично, геоелектрично, структурно и т.н.) Структурите в крайните части на депресията, които имат различни посоки на простиране (NW-SE, NE-SW, ENE-WSW, E-W, N-S) биха могли да се интерпретират като бордове на една импактна рингова структура.

Introduction

The Methohian basin in the shape of a huge amphitheater of about 2000 km² in surface area is situated in the southern and southwestern parts of Serbia bordering on Albania. This depression, for its complex tectonic pattern especially on the margin, has been a subject of interest of many geologists and other natural scientists from the ancient times. Opinions about the origin of the depression, age of faults and Tertiary deposits and other aspects are controversial.

Thus, Cvijić (1901, 1913, 1924) maintains that Metohian depression was formed and modified (the phase of Dinarides faulting) over a relatively long geologic time and is a typical example of the intermontane depression - tectonic valley filled with terrestrial deposits with coal. The same author explains formation of the depression by subsidence resulting from a large-scale orographic convergence of Prokletije and Shar Mountains, or the convergence of the Dinaric and Shar-Pind systems, and the numerous marginal faults on the northern, western and southern sides as "formed by abrupt bending of folds from the Dinaric into Metohian (system) giving the

impression that the ground was fractured. Sedimentation of Neogene deposits began in the graben whose "main shape was finished". If the "ground was fractured" and "the main shape was finished" does not it suggest certain Cvijić's doubt in the depression formation by "the convergence"? The hypothesis of convergence of two systems is still prevailing with minor variations.

Important information on the presence and historical evolution of the depression is contained in Kober (1952) that reads: "Peć depression, almost 100 km wide, divides the Dinarides and the Hellenides and is a tectonic line of the first order. It strikes transversally to the Dinarides direction short of Prishtina in the east. At the present time it is covered by younger and Upper Cretaceous formations." It may be deduced that Kober assumed faulting of the preexisting structures even before the Upper Cretaceous.

Old alpine orogenies led to large structural deformations and subsidence along longitudinal and transversal dislocations in the convergence zone of magmatic and sedimentary rocks. Možina et al. (1961) write: "folding and faulting were the strongest in the Laramian, less strong in Pyrenean and Savian orogenies". Each phase, according to the same authors, was characterized by disjunctive movement that led to subsidence of masses "along intermittent and newly formed dislocations and to formation of basins in which Tertiary sediments were deposited". However, the movements could have been older.

Vidović (1965) refers to the Peć faulting feature as "a deep fault through Earth's crust" associated in time with "the earliest differentiation of the Dinaric geosyncline - the Caledonian phase". Vidović, like Cvijić, describes that geotectonic zones and directrices converge to the Peć fault, which is the boundary "of the Dinaric and Shar-Pind systems".

Čirić (1962/63, 1967) refers to the Metohiya depression as "a large molasse basin particular in its position". He takes it to be a typical example of "inherited depression that was formed at the point of convergence of Dinaric and Bosnia-Raška zone of the Inner Dinarides". It is classified into "central molasse depressions".

A contribution in collective authorship of Zagreb Industroprojekt (1969) hypothesizes that during the Mesozoic the Metohiyian basin was part of a relatively narrow "eugeosyncline" extending from Albania to this area. They describe the depression as a "graben-form" most likely in the "continental phase - without sediment filling" in the time interval K₂-O₁.

A note of interest (Bogdanović, 1976) is that "intrusion of the huge Mirdita peridotite massif in the late Triassic and early Jurassic led to the bending of Triassic and Paleozoic strata that surrounded the Mirdita pluton". He states that the Mirdita peridotite massif "had the crucial effect on folds' deviation from NW-SE to NE-SW or even E-W direction". This fold deviation, and the depression formation, occurred, according to Bogdanović, "before the Upper Cretaceous, but after the Triassic", and the diagonal Peć and Prizren faults were certainly older than the "Lower Miocene volcanogenic series near Trepča and on Kopaonik, but younger than the Lower Cretaceous".

According to Maksimović (1978), the study area of the Peć part of Metohiya belongs to "central ophiolite, which is the most distinctive zone whose membership in the Dinarides has never been disputed".

Petković and Sikošek (1976) argue that the period of Neogene tectonics is characterized by the following: "Savian-phase orogeny activated old and formed new vertical structures, along which land was dissected, depressions formed and filled with Tertiary waters in which deposited molassic sediments."

Bokčić (1983) does not take Metohiyian basin for a "static basin" predisposed for filling. It was a highly dynamic depression where tectonic movements though frequent, were not abrupt or variable. Tectonic events influenced the formation of relatively thick deposits of different types: Lower Pliocene coal to about 60 m or a "group" of deposits of uniform grain size. This is particularly true of lake deposits of the Middle Miocene and Lower Pliocene.

Hadži et al. (1974) associate tectonic events in the region with the plate rotation, in detail the collision of plates and the growing pressure of the Arabian-African plate on Eurasia. To quote: "under the growing pressure of the Arabian platform from SE to NW in the late Eocene, entire southeastern Europe and southwestern Asia began to move through the section from the style platform to south Budva-Ionian-Tauride margin". Because the movements to the west and northwest were soon retarded by resistance met by the northern part of Karnic-Apulian massif, individual plates deviated in the Oligocene to SW, or to the oceanic region of the present-day central Mediterranean. From variations in the paleodeclination and paleoinclination it may be inferred that the events that upset the earlier paleomagnetic balance, or the preexisting distribution of plates, occurred between the Eocene and the Middle Miocene.

All these large-scale displacements (that have continued to the present day) had great influence on the youngest structural relationships established through the Neogene and the Quaternary. In modern views, the nealpine structural relationships are marked by continental subduction of the Adriatic plate under the Dinaric orogen during the Neogene and the Quaternary (Marović et al., 1993, 1998; Petkovski, 1990). The structures such as basins, troughs, and even true basins (Aegean Sea) formed in the post-collision phases and/or under some particular circumstances within the perimeter of the Dinaric orogen. Movements manifested in the border belt of the Adriatic plate and the Dinaride-Hellenide orogen had a direct effect on the neostuctural plan of the study area. The littoral belt is a zone of marked level difference. Subsidence was a consequence of the Adriatic lithosphere deflexion during its subduction under the Dinaric orogen, and rising of Dinaric orogen a result of contraction caused by the African (Adriatic) and European (Mesian) plates interaction and of relative thickening of Earth's crust.

Younger Neogene basins in the region may be genetically associated with extension processes, or explained as the result of tectonic activities during most of the Neogene and through the Quaternary, formerly differentiated (rising and sinking) and later epeirogenic rising. However, the formation of initial

depression structures is directly related to the closing movements of the second formational phase (during the Paleogene to the earliest Neogene), when contraction was marked by reverse slipping, imbrication, thrusting over and transcurrent shearing along intermittent dislocations of N-S, NW-SE and NE-SW directions (Marović et al., 1993; Petkovski, 1990).

A new neotectonic (geodynamic) process that evolved through two phases: from Middle Miocene to Quaternary and reached the paroxysm in the Pliocene, represented by the clockwise rotation of the Hellenides and the Dinarides pushed by the Asia Minor plate, could have influenced the evolution of neoalpine (neotectonic) structural relationships in South Serbia, Macedonia and a larger area (Krstić et al., 1977). The rotation resulted from the formation of the western and northwestern parts of the Aegean island arc; its effect reached the Skutari-Peć transverse, known as Mirdita Zone (Bilibajkić et al, 1979; Marović, Đoković, 1995). It was along the Skutari-Peć transverse that the Dinaric-Hellenide orogen arcuated and formed, on its convex side, trough structures, most conspicuous of which is Metohijan trough. Spreading in the transverse zone must have reflected, in a lesser measure, on the west, deep into the Mediterranean. The eastward extension bent to Sofia and passed the southern Sredna Gora trough boundary to southern Bulgaria. Within this transverse fracture, differential displacements influenced the formation of many faults of NE-SW strike direction and relatively narrow Tertiary basins normal to the Dinaric ones (NE-SW). Similar events also occurred along transversal fractures Elbasan-Kyustendil, Joannina-Plovdiv and on the Aegean geofracture (Petkovski, 1997).

A zone of more frequent earthquake events extends south of and parallel with the formed boundary (Skutari-Peć). The earthquake epicentral depths were about 10 km (Krstić et al., 1997). The seismic activity indicates movements of the more recent history. Active seismotectonic levels are associated mainly with young systems, faults of neotectonic manifestation.

As described above, views on the origin and age of the Metohijan basin and its structures are controversial. The depression could not have been formed in a lineament structure, eventually initiated by rotation, though it is hard to imagine a homogeneous geological body to be moved by conjugate forces. It seems more likely that an impact body (impactite, asteroid) had formed the circular crater that was modified by other tectonic movements. The very beginning of the depression formation is difficult to determine in the present stage of our knowledge and on the available information.

Geology and Structural Pattern

The Metohijan basin and its margin are made up of Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic sedimentary and various types of igneous rocks (Fig. 1).

Paleozoic sedimentary rocks build up the basal parts of Shar Mountain and southeaster, eastern, northeastern and northwestern parts of Metohiya depression. Lower Paleozoic is represented by Silurian and Devonian, and the Upper Paleozoic by Carboniferous and Permian. The Silurian-Devonian complex consists of two series: lower, dominantly

greenschist of high crystallinity and upper rocks of lower metamorphic grade. The complex equivalent to the Upper Paleozoic consists in the lower part of lustrous foliated phyllite, greenschist, slate and slate clay, and of varied sandstones, marbleized limestones and conglomerates in the upper part.

Mesozoic sedimentary rocks are widespread in the eastern, northern and western areas of the Metohijan depression. Triassic sedimentary rocks build up large parts of northwestern and northern Metohijan depression, and much of the marginal Prizren Polje and Shar Mountain in the form of east-west lands. These rocks are light-grey, whitish or white limestones, occasionally dolomite.

Jurassic is characteristic for typical diabase-chert formation and serpentinite where Triassic and partly Upper Cretaceous rocks are prevailing. Upper Cretaceous is dominantly in the calcareous facies in Paštrik area and largely in flysch facies in the eastern margin of Metohiya basin.

Tertiary is represented by Neogene formations - freshwater Miocene and Pliocene deposits of large thickness and relatively complex lithology. There is no paleontological evidence of Lower Neogene deposits in the deepest part of the basin.

Miocene sedimentary rocks have a small distribution as compared to Pliocene, around Peć and in northeastern part of the depression (Rudnik, Banja, Crkolez, Rakoš), known in literature as the Peć Series. It is made up of sands with gravel lenses, whitish ostracod marls, a few tuff layers, coarse green sands and small-grained conglomerates, and few coal seams. The series is deformed and inclined to the west, northwest and north at different angles (from 10° to 45°). Coal seams are thin (between 0.1 m and 1.2 m). Also thin beds and coaly clay interbeds occur in the upper part of the series. The age of the Peć Series is most likely Middle Miocene and Upper Miocene (Sarmatian). Its thickness is about 450 m. All this is indicative of a long lake phase with shallowing episodes (Milošević, 1966; Antonijević et al., 1969; Bokčić, 1983).

Interstratal tuff emplacements suggest volcanic activity, during the deposition, along dislocations on the basin's margin. Distinct lower and upper tuff boundaries indicate rapid deposition of ash. In views of many investigators, volcanic activity occurred in the Middle Miocene. Identical or very similar volcanic evidence is identified in the underlying Kosovo Series. Most references describe Kosovo tuff interbedded in white marls of northern basin as Miocene (Atanacković, 1959).

Pliocene rocks have a large distribution in Metohijan depression and form two horizons: (a) Lower Pliocene deposits and (b) Middle and Upper Pliocene deposits.

(a) Lower Pliocene deposits. Principal characteristic of the Lower Pliocene, which has a fairly large coverage in northern Metohijan depression, is its large coal deposit. The unit is divided into the underlying strata and the coal measures and overburden.

The underlying strata are widely exposed and transgressive over the Peć Series. They consist of conglomerate and sandy

green clay with CaCO_3 concretions and knots. Fossils have not the coal measures in Kosovo. The estimated thickness of the underlying strata is between 200 m and 300 m.

The coal measures and the overburden are exposed in Peć area of the depression. Upper Pontian is the coal measures, about 35 m thick, and the overlying barren rock material, clay-marl deposits with some red burned. The entire overlying sequence is highly fossiliferous and resembles Kosovo deposits, which indicates a wide communication of Kosovo and Metohiya lakes (Milošević, 1976; Atanacković, 1959).

been found. These strata are identical with those underlying

(b) Middle and Upper Pliocene. Younger Pliocene deposits of sand and sandy marl conformably overlie the coal measures. Their distribution is relatively small in northern Metohiya, but is more widespread in Đakovica-Prizren part of the depression where they are the only Neogene deposits. These deposits, abounding in molluscan fossils, primarily unionids and viviparids, have a total thickness of about 300 m.

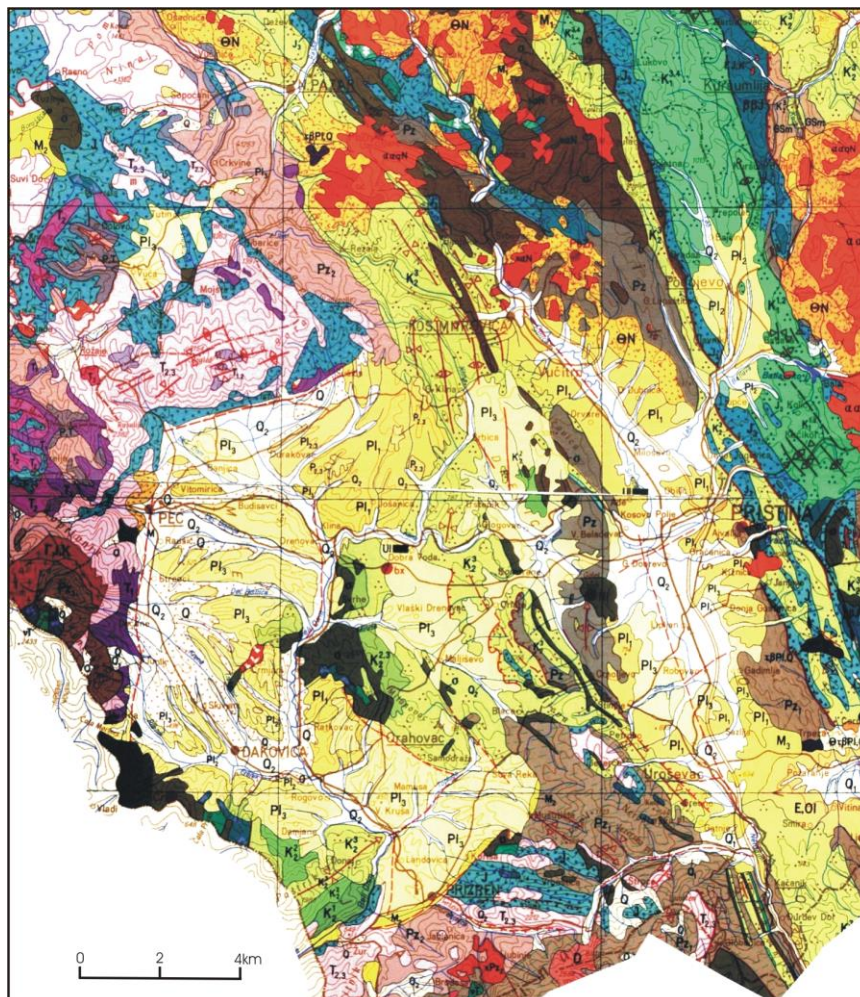


Fig. 1. Geological map of Metohian basin and its margin: GSM – Gneiss and mica-schist; Pz – Paleozoic metamorphite; xPz – Paleozoic igneous rocks; PT – Permo-Triassic; T – Triassic; vT – Triassic igneous rocks; J – Jurassic; $\beta\beta J$ – Jurassic diabase; Se – Serpentinite; K – Cretaceous; E.OI – Eocene-Oligocene; θN – Neogene pyroclastics; M – Miocene; PI – Pliocene; $\alpha\alpha N$ – Neogene dacite andesite; αN – Neogene quartz latite; $\theta\beta PI, Q$ – Pliocene and Quaternary pyroclastics and feldspar leucite basite; $\tau\beta PI, Q$ – Pliocene and Quaternary feldspar leucite basite; Q – Quaternary; UI – coal

Quaternary is represented, among others, by rocks that indicate glaciation, which must have preceded the formation of the large pre-Mindel fluvio-glacial terrace of Orno Brdo.

The territory of Metohiya is a part of the Inner Dinarides geotectonic entity that extends from Serbia into Bosnia in NW and Macedonia and Albania in SE. The tectonic depression of Metohiya is radial in form and has a complex tectonic pattern on its periphery. Rock strata are tightly folded, faulted and imbricated. Fold axes have different trends, Dinaric or Metohian, and strike direction north-south on the eastern margin of the depression. Major tectonic units in this area, which control the tectonic depression, are: marginal system of

faults, the river Klina fault system and the Čićavica thrust-sheet (Petković, Sikošek, 1976).

The view so far prevailing is that Metohian depression was formed by stepwise subsidence (about 1000 m) along the system of bounding faults as they strike today. The system of faults of ENE-WSW strike, probably Pontian in age (Cvijić, 1913), bound Metohian tectonic depression on north and south. On its western rim there are two faults: one almost N-S from Peć to Dečani, and the other NW-SE from Dobroš to Damnjan forming its southwestern boundary (Fig. 2). Thus shaped depression was filled with Miocene terrestrial sediments, with the central occurrence of tectonically controlled Cretaceous deposits and serpentinite. The tectonic

depression of Metohiya is located in the "migration" area of the Dinaric orogen structures strike directions, where during the neotectonic events, the pressure release was the greatest.

The term "Metohiyian direction" was introduced by Cvijić (1924). He noted in the extreme south that Dinaric mountain ranges curved from NW-SE to E-W or NE-SW, locally N-S, while the outer folds nearer to the Adriatic Sea retained the Dinaric direction (NW-SE), sank to the level of the Drim and Bojana rivers backland and converged "at an obtuse angle with Albanian folds of the Mediterranean direction". However, "internal directrices bent right behind Skutari, in Tarabaš and Rumija to NE, the direction presently referred to as Metohiyian, because it is best marked around Metohiyian depression". Similar curvings are noted on the other side of Metohiyian depression in the Shar Mountain system (Shar, Koritnik and Paštrik), where meridian direction changes into Metohiyian direction (NE). Cvijić (1901, 1924) tried to explain the phenomenon by the tectonic control. His hypothesis was that curving of folds and directrices in Prokletije and further westward caused the orographic bending.

Impact Effect and Product (Impactite)

It is interesting to note that nobody of geologists or other researchers who studied this region ever thought of the impact by an extraterrestrial body, though images of such bodies from artificial satellites have become available (Antonović & Simić, 2006). As a result of cosmic explorations in the late 20th and beginning of the new century, an abundance of information has been obtained on the composition and structure of planets in the solar system, what led to new knowledge and a new scientific discipline, Comparative Planetology.

Studies of the surface geology of the Earth family planets (Mars, Mercury, and Venus) and their satellites Moon and so on) have shown that many characteristic features of their surface configuration and deeper structures are controlled by ring (circular) structures of various dimensions. It has been noted that most of ring structures were impact craters and that no more than 20% of the all ring structures were volcanic craters (Markov, 1984; Antonović, Simić, 2006). Estimates have shown that intensive meteorite showers were dominant in the early phases of their evolution, from 4 to 3.8 milliard years, and before two milliard years decreased 200 to 300 times (it was calculated that in the early stages of Earth's evolution, 10^3 - 10^4 bodies from 10 km to 100 km in radius should have fallen on its surface at a velocity rate between 10 km/s and 20 km/s; in: Markov, 1984). Intensive bombardment of planets in the early stage of their evolution should be considered a universal process of substance transformation for any solid body of the solar system. The geochemical effect of this impact transformation has been inadequately evaluated and studied, or little has been known about the proportions of the events, their effects and influences on the evolution and transformation of the continental crust.

If the Earth's nearest neighbours were exposed to meteorite showers in different stages of their history, there should be hardly any doubt that meteorites fell on the Earth surface as well. As mentioned earlier, many specialists in Earth geology have given little consideration to or ignored impact occurrences as a geological process on the Earth, even if they were

obvious and should have been taken into consideration both in the early geologic history and the latest biological evolution of the plant Earth. It is understandable, because endogenic processes have done much in erasing the traces of impacts. Moreover, at the present time, about a hundred impact structures, some of 140 km or more in diameter are identified on the Earth (Barsukov, Bazilevskiy, 1984; Markov, 1984; Griev, Parnente, 1984; Gluhovskiy, Pavlovskiy, 1984; Masaitis et al., 1984; Engelgardt, 1984; Feldman, 1984; Antonović, Simić, 2006).

The study of tectonics and magmatism in the early stage of Earth's evolution is very important in itself, because it affords insight into the origin of the geological history of our planet, and a view on the sources of its upper mantle formation. This is equally interesting for tectonists and petrologists, geochemists and sedimentologists, or in other words, for many disciplines of the geological science.

Principal bombardment effects are the following: (1) essential contribution in the planet energy on the account of very rapid strikes, transformation of kinetic into thermal energy, (2) initiation of volcanism, products of which are mostly filling craters and (3) meteorite bombardment on Earth surface that led to essential redistribution and mixing of material, and to the change of its chemical composition.

Nonetheless is interesting to learn and explain the character of basalt volcanism on different planets, because basalt is one of essential constituents in planet crusts. We know well that in the Phanerozoic history of the Earth, the primary mass of basalt formed in contemporary oceans and their paleoanalogues. May this pattern of an early stage of the geological history of Earth be applied to other planets of the Earth family? The question is still obscure because moon "seas" and "continents" are not analogues, in the strict sense of the word of similar structures on the Earth.

Craters more than 2 km across in sedimentary and more than 4 km in crystalline rocks have a characteristic depth-to-diameter ratio of less than 1/10 and elevated central area of shock-metamorphosed rocks that form central peak and/or inner ring (Antonović, Simić, 2006).

A brief review of the geology and geophysics of many Earth craters can be found in the works by Dence et al. (1977) and Masaitis et al. (1980). In some examples of extraordinary geological circumstances, formation of large impact structures influenced the precipitation and emergence on ground surface ore deposits (e.g. Ni-sulphides in Sudbury structure (Morrison, 1982) or uranium in Caswell structure (Johns, 1970). In some impact structures also were formed appreciable reserves of hydrocarbon, as in Boltish depression (Yurk et al., 1975), Viewfield (Sawatzky, 1977) and Red Wing Creek structure (Brennan, 1975). An impact exerts deep effect on local geology, upsetting the physical and chemical balance in rocks, which in particular cases leads to the formation of a structure of much larger horizontal scale than the largest volcanic product.

The effects that indicate a large-scale impact on the early Earth crust may include the following: landform of a few km in amplitude, thermal gradient rise in the lithosphere and the

atmosphere directly beneath the shock site, controlled ascension to the surface of deep material, some potential energy for the next eruption of basalt on the account of adiabatic expansion, endogenic mineralizations (Pb-Zn and the like), geomagnetism and other relevant indications (Antonović, Vukašinović, 1989/1990).

In case of the relatively thin lithosphere of the Earth, which probably was even thinner in the early history of the planet, large-scale impacts could have supplied asthenosphere material to the ground surface, what caused volcanic events over a large area (Griev, Parmente, 1984).

An impact is followed by transformation of the large impact basin. The transformation processes include contraction and expansion after the heat loss, subsidence and rise after the shock, degradation of landforms on the account of erosion and rapid relaxation, filling basin.

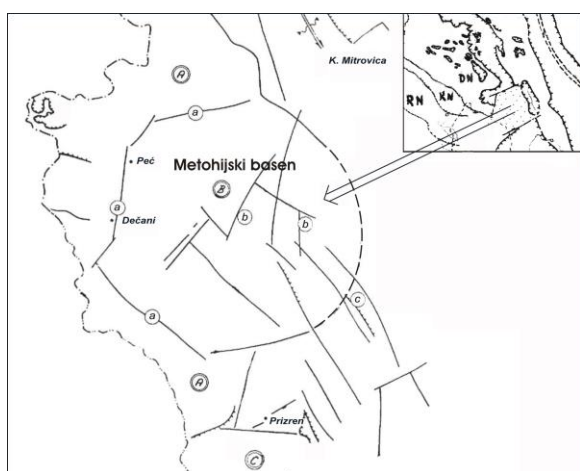


Fig. 2. Tectonic map of Metohiya and its margin (modified after Petković and Sikošek, 1976): DN – Durmitor nappe, KN – Kuči (Žijovo) nappe, RN – Rumija nappe, Geotectonic units: A. Central Paleozoic and ophiolite belt, B. Tectonic depression of Metohiya (a. Metohiya depression marginal fault system, b. the Klina system of faults, c. Čičevica thrust sheet), C. Korab nappe

During the hypervelocity impact of a relatively solid body onto the hard planetary surface, there follows a rapid succession of phases:

- a) penetration of the impacting body and consequent compression, compaction of material,
- b) excavation – caving and formation of crater,
- c) transformation of transient crater and its filling both underneath (rapid replacement of dislodged and crushed socle) and above (numerous settlements and emplacement of ejected, broken and molten material of target rocks).

The shock wave spreads from the shock zone in concentric rings and is manifested in: (a) evaporation, (b) complete melting, (c) partial melting and plastic deformation, (d) crushing and fissuring. In crater structures only relics have remained, formed in the zone of partial melting and plastic deformation, and complete in the zone of crushing and fissuring. According to current estimates, the area of complete destruction in an impact crater (zones a, b and partly c) is characterized by high pressure (about 25 GPa).

Rock and structure transformation, during the collision, may be considered at several levels:

1. At the atomic/molecular level, the shock wave causes atom compaction, or destruction of atomic or molecular bonds. High temperature raise leads to dehydration of water-bearing minerals, carbonate decomposition and moisture evaporation,
2. On the crystal lattice plane, fine mosaic cracking of crystal structure and lattice rearrangement or complete destruction at a higher or lower level,
3. At the mineral level, transformation evolves through several successive stages: (a) propagation of the shock wave (progressive shock metamorphism), (b) heat effect from the impact melt source (pyrometamorphism) and its cooling (crystallization, glass formation, neocrystallization, recrystallization, polymorphic transitions, etc.), and (c) during the action of aqueous solutions that flow through the cooled rock mass.

The processes, due to high temperature and pressure generated within the short time of collision, lead to different structural transformations and formation modes of the group of crystal and glass phase: crystals under high pressure, monomineral and polyminerall impact glass, grassy condensate, glassy products of pyrometamorphic melt and glassy products of thermal decomposition. Glassy formations or tektites are small, rounded, spherical or uniform-surface bodies found in groups. Tektites have high silica (70%-80%), aluminium oxide (11%-15%) and alkalis ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ from 3.34% to 4.04%), and very low water contents (Rika, Malyshevskaya, 1989).

Impact structure

Metohiyan depression in South Serbia is a large geotectonic unit of complex structure. Major tectonic units in the region, which control the depression, form a system of marginal faults, a fault system of the River Klina and Čičavica overthrust nappe.

The geological-structural map of this Serbian region clearly shows its principal features:

1. Distinct bending of deep-seated structures in the southern, western, northwestern and northern parts of Metohiyan depression is manifested in sharp change of strike directions from E-W to NW-SE to NE-SW to N-S (Figs. 1 and 2). Impact or a vestige of its edge may explain abrupt changes in the strike direction, or almost circular pattern of the structures. The western margin is formed by two faults: one, extending from Peć to Dečani, almost N-S, and the other, bounding the basin on southwest, which strikes in NW-SE direction from Dobroš to Damnjan. The eastern border of the Metohiya basin is similarly curved. Morphology of the bent structures and abrupt change in their strike directions on the edge of Metohiyan depression may not be satisfactorily explained neither by convergence of the Dinaric and Shar-Pindus systems nor by plate rotation or gravitational sliding. The only explanation is that it was produced by impact.

2. Another feature suggesting impact structure is a recognizable circular depression, almost a thousand metres deep, filled with Neogene sediments including thick coal deposits, bounded by fractured and deformed rocks of "the central Paleozoic and ophiolite belt" (Fig. 2). The base under

the depression fill (clastics) is the rock as those building up the sides of the depression. Also, subsidence is manifested (Dragašević, 1974), and then thinner Earth's crust in the structures, and a lower the common thermal gradient.

3. More evidence of the likely impact character of structures is provided by some geophysical data, foremostly the agreement of positive geomagnetic anomalies with the circular structure (Vukašinović, 2005).

4. A supportive evidence of the circular structure is the distribution of Oligocene/Miocene intermediate igneous rocks, which frequently bear large and locally Pb-Zn rich deposits (NE of Metohiya depression, Trepča, etc.).

The time when Metohiyian depression was formed is difficult to determine. It probably occurred before the Upper Cretaceous, after the Triassic (possibly also in the Paleogene). Some references (Bogdanović, 1976) associate the fold deflections with the Mirdita peridotite massif. Could not a meteorite impact cause synchronous deviations of folds and formation of Orahovac peridotite? Answers to this and many other questions may be searched in sediments of the Metohiyian depression and rocks building up its edges. The search must be multidisciplinary and comprehensive to include geological-structural, atomic-molecular, crystallographic, mineralogical, petrological, geochemical, geophysical studies.

References

- Antonijević, I. 1969. *Explanatory book for sheet Peć and Kukes, Basic Geological Map 1:100000*. Federal Geological Survey, Belgrade, 71 p. (in Serbian, English and Russian summary).
- Antonović, A., M. Simić. 2006. Craters – witnesses of meteorite invasion in the solar system space. – *18th Congress of the Carpathian-Balkan Association, Belgrade*, 8-11.
- Antonović, A., S. Vukašinović. 1989/1990. The Fundamental Magmatogenic-Minerogenic Structures in Yugoslavia and in Neighbouring Countries. – *Glasnik Prirodnjačkog muzeja, A 44/45*, 29-38, Belgrade (in English, Serbian abstract).
- Atanacković, M. 1959. Pliocene of Kossovo Basin, Geological-Paleontological Study. – *Geološki glasnik*, 3, 257-395 (in Serbian).
- Barsukov, V. L., N. V. Bazilevskiy. 1984. Comparative Planetology. Some Inferences and Prospects. – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. Section S.19, Vol. 19*, 3-11, Nauka, Moskva (in Russian).
- Bilibajkić, P., M. Mladenović, S. Mujagić, I. Rimac. 1979. *Textual Explanation of Gravimetric Map of the SFRY - Bougue Anomalies*, GSD Geozavoda, Belgrade, 67 p. (in Serbian).
- Bogdanović, P. 1976. *Explanatory book for sheet Kosovska Mitrovica, Basic Geological Map 1:100.000*. Federal Geological Survey, Belgrade, 67 p. (in Serbian, English and Russian summary).
- Bokčić, P. 1983. *Neogene Coal Deposits of NE Metohiyian Basin*. Rasprave Geozavoda, 20, Beograd, 62 p. (in Serbian).
- Brennan, R. L., B. L. Peterson, H. J. Smith. 1975. The origin of Red Wing Creek Structure, McKenzie County, North Dakota. Wy. – *Geological Association Earth Sciences Bulletin*, 8, 3.
- Cvijić, J. 1901. Die Dinarische-Albanesische Scharung. – *Sitzungsberichte d. kais. Akad., d. Wiss., Math.-natur. CL.*, 110, 437-438, Wien.
- Cvijić, J. 1913. Ice Ages in Prokletije and Surrounding Mountains. *Glas Srpske Kraljevske Akademije nauka, Belgrade*, XCI, 188-267 (in Serbian).
- Cvijić, J. 1924. *Geomorphology I*, Izdanje Državne štamprije, Belgrade, 588 p. (in Serbian).
- Čirić, B. 1962/63. Flysches and Molasses of Alpine Cycle in the Dinarides. – *Sedimentology*, 2, 3, Belgrade (in Serbian).
- Čirić, B. 1967. Tectonic Pattern of the Dinarides. – *7th Congress of the Carpathian-Balkan Association. Field Trip Guide Book: Geological Problems of the Dinarides*, Belgrade, 4-7 (in Serbian).
- Dragašević, T. 1974. Recent structure of Earth's Crust and Upper Mantle in Yugoslavia. – *Zbornik: Metalogenija i koncepcije geotektonskog razvoja Jugoslavije (Collection: Metallogeny and Concepts of Geotectonic History of Yugoslavia)*. Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 59-72 (in Serbian).
- Dence, M. R., R. A. F. Grieve, B. P. Robertson. 1977. Terrestrial impact structures: Principal characteristics and energy considerations. – In: *Impact and Explosion Cratering*, N.Y., Pergamon Press, 80-88.
- Engelhardt, V. 1984. Rasplavi v zemnih udarnih strukturah (Melts in Terrestrial Impact Structures). – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. Section S.19, Vol. 19*, 80-88, Nauka, Moskva (in Russian).
- Feldman, V. I. 1984. Cosmogenic and Endogenic Ring Structures on the Earth (Identification Criteria). – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. Section S. 19, Vol. 19*, 104-110, Nauka, Moskva (in Russian).
- Gluhovskiy, M. Z., E. V. Pavlovskiy. 1984. Ring structures of the Earth evolution early stages. – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. Section S.19, Vol. 19*, 67-74, Nauka, Moskva (in Russian).
- Grieve, R. A. F., E. M. Parmenter. 1984. Shock impacts as factors of Earth Evolution. – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. S. 19, Vol. 19*, 57-64, Nauka, Moskva (in Russian).
- Hadži, E., N. Pantić, V. Aleksić, M. Kalenić. 1974. Alpides of SE Europe in the light of plate tectonics. – *Zbornik: Metalogenija i koncepcije geotektonskog razvoja Jugoslavije (Collection: Metallogeny and Concepts of the Geotectonic Evolution of Yugoslavia)*. Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 231-261 (in Serbian).
- Johns, R. W. 1970. Athabasca sandstone and uranium deposits. – *West Miner., Oct.*, 42-52.
- Jurk, Ju. Ju., K. G. Jeremenko, A. Ju. Polkanov. 1975. The Boltsh depression: A fossil meteorite crater. – *Sov. Geologiya*, 2, 138-144 (in Russian).
- Kober, L. 1952. *Leitlinien der Tektonik Jugoslawiens*. Posebna izdanja SANU, CLXXXIX, Geološki institut, knj. 3, Belgrade, 64 p. (in German)
- Krstić, N., N. Dumurdžanov, N. Bratuljević, V. Milićević, M. Simić, S. Radovanović, I. Aleksić. 1997. Pliocene tectonics of Southern Serbia and Adjoining Regions. *Bulletin de l'Academie serbe des Sciences et des Artes, Classe des Sciences Mathematiques. et naturelles*, 39, 99-121, Belgrade (in English).
- Maksimović, B. 1969. Contribution to the Study of Neogene Evolution in the Metohiyian Basin. – *Zapisnici Srpskog*

- geološkog društva* (Zbor od 10.12.1965), 1969, 65-71, Belgrade (in Serbian).
- Markov, M. S. 1984. Early stages of the Earth evolution and comparative planetology. – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. S.19, Vol. 19*, 50-56, Nauka, Moskva (in Russian).
- Marović, M., I. Đoković. 1993. Genesis and kinematics of young Neogene Basins in Carpatho-Balkan Eastern Serbia. – *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, 57, 1, 37-58, Belgrade (in Serbian, English).
- Marović, M., I. Đoković. 1995. Neotectonic activity of the "Skutari-Peć Transverse" General Area. – *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, 52(2), 23-43, Belgrade (in Serbian, English).
- Marović, M., 1998: Genesis of neotectonic structures of Serbia, *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, 62, 25-45, Belgrade (in Serbian, English).
- Masaitis, V. L. 1984. Earth crust impact reworking. – *27th International Geological Congress. Comparative Planetology. Section S.19, Vol. 19*, 74-80, Nauka, Moskva (in Russian).
- Masaitis, V. L., A. N. Dannilin, M. S. Mashchak. 1980. *Geology of Astropblems*. Nedra, Moskva, 231 p. (in Russian)
- Milošević, V. 1966. Facial-Stratigraphic Character of the Metohiyan Neogene with Particular Reference to Coal Age), *Glas prirodjačkog muzeja, Ser. A, knj. 21*, 78-85, Belgrade (in Serbian).
- Milošević, V. 1977. *Geology of Serbia, Stratigraphy - Cenozoic, Metohiya-Drenica Basin*, II-3, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 342-354 (in Serbian).
- Možina, A. 1961. *Explanatory book for sheet 53 Kosovska Mitrovica, Basic Geological Map 1:100.000*. Federal Geological Survey, Belgrade, 65 p. (in Serbian, English and Russian summary)
- Morrison, G. G. 1988. Impact Crater Morphology and Its Relevance to the Emplacement of the Sudbury Basin Ore Deposits. – *Geological Association Canada Annual Meeting Progr. and Abstrs.*, vol. 7, 1-68.
- Petković, K., B. Sikošek. 1976. *Geology of Serbia, Tectonics, Mesozoic and Cenozoic - Tectonic Features*, vol. IV, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 317-334 (in Serbian).
- Petkovski, R. 1990. Geotectonic evolution of Macedonia. *XII Kongres geologa Jugoslavije*, vol. 5, Ohrid, 114-129 (in Macedonian).
- Petkovski, R. 1997. Recent tectonics of Macedonia. Symposium-Annual meeting. – *Proceeding Magmatism, Metamorphism and Metallogeny of the Vardar Zone and Serbo-Macedonian Massif*, Faculty of Mining and Geology, Štip-Dojran, 181-184 (in English).
- Rajčević, D. 1966. Contribution to the Study of Metohiyan Basin Neogene Sediments. – *Zapisnici Srpskog geološkog društva za 1964, 1965, 1966, 1967*, Belgrade, 1969 (in Serbian).
- Richard, M. 1994. *Nemesis*. Povremena izdanja Geoinstituta, Belgrade, 277 p. (in Serbian).
- Rika, V., A. Malishevskaya. 1989. *Petrographic Dictionary*, Nedra, Moskva (translation from Polish).
- Simić, M. 1965. *Geology and Structural Pattern of Metohiyan Basin and Its Margin*. Honours thesis, Faculty of Mining and Geology, Belgrade, 105 p. (in Serbian).
- Sawatzky, H. B. 1977. Buried Impact Structures in the Williston Basin and Adjacent Area. – In: *Impact and Explosion Cratering*, N.Y., Pergamon Press, 461-480.
- Vidović, M. 1965. On Transverse Deep Faults on the Territory of Yugoslavia. – *Zapisnici Srpskog geološkog društva za 1964, 1965, 1966, 1967*, Belgrade, 1969 (in Serbian).
- Vukašinović, S. 2005. *Anomalous Magnetic Field and Geology of Serbia*. – Geoinstitut i Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine, Belgrade, 101 p. (in Serbian, English abstract)

GEOLOGY, CHEMISTRY COMPOSITION AND PREPARED BENTONITE AND ACTIVATED BENTONITE CLAY FROM DEPOSITS "PROPAST – DOBROVOLETS", KARDJALI APPLICABILITY IN DRILLING OPERATION

Stanislav Stoykov, Milko Harizanov, Valery Zlatanov

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

ABSTRACT. This paper presents a review of geology, chemistry composition and prepared bentonite clay applicability for drilling operation (horizontal direction drilling). Research focused on recommended and application of the bentonite clay from deposits Propast – Dobrovolets, Kardjali, Bulgaria for drilling mud prepared and laboratory analyses API 13A (Spec. 13A) and OCMA Grade Bentonite. In laboratory research activators additives – soda ash and polymers for best bentonite mud properties: yield of bentonite slurry, rheological properties and filtrate loss.

ГЕОЛОГИЯ, ХИМИЧЕН СЪСТАВ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА БЕНТОНИТОВИТЕ ГЛИНИ ОТ НАХОДИЩЕ "ПРОПАСТ – ДОБРОВОЛЕЦ", КЪРДЖАЛИ ЗА СОНДАЖНИ ЦЕЛИ

Станислав Стойков, Милко Харизанов, Валери Златанов

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

РЕЗЮМЕ. В настоящата статия са разгледани геологията, химичният състав и приложението на бентонитови глини за сондажни цели, в частност хоризонтално – насочено сондиране в градски условия. Изследването е фокусирано върху оценка приложимостта на бентонитовите глини от находище Пропаст – Доброволец, Карджалийско, за сондажни цели – приготвяне на промивни течности и лабораторен анализ съгласно стандарти API 13A (Spec. 13A) и OCMA Grade Bentonite. В лабораторни условия е изследвано и влиянието на активатори – калцинирана сода и полимери за подобряване качествата на бентонитовите суспензии: добив на суспензия, реологични параметри и филтрационни свойства.

Introduction

The term *bentonite* is used for commercially-mined sodium montmorillonite (which is a form of smectite) that is used as an additive for drilling mud. *Geologically, bentonite is a bed of altered volcanic ash.* One of the biggest deposits of this volcanic ash occurred over 60 million years ago in areas of North America now known as the Blacks Hills of Wyoming and South Dakota, and the Big Horn Mountains of Wyoming. Bentonite clay mined in Wyoming actually comes from this volcanically deposited bentonite bed. Bentonite clay mined in other areas of the world may be from other types of geological deposits. Because of their small particle sizes, clays and clay minerals are analyzed with special techniques such as x-ray diffraction, infrared absorption and electron microscopy. Cation Exchange Capacity (CEC), water adsorption and surface area are some of the properties of clay minerals that are often determined in order to better characterize clay minerals as well as to minimize drilling problem.

Bentonite is plastic clay generated frequently from the alteration of volcanic ash, consisting predominantly of clay minerals, usually montmorillonite. Depending on the nature of their genesis, bentonites contain a variety of accessory minerals in addition to montmorillonite. These minerals may include quartz, feldspar, calcite and gypsum. The presence of

these minerals could impact the industrial value of the deposit, reducing or increasing its value depending on the application.

Bentonite is clay containing not less than 70% of montmorillonite. Montmorillonite is superfine flaky aluminosilicate, where due to lattice nestehiometrical cations exchange surplus negative charge appears and compensates cation-exchange located in interlayer area. High waterproofing is conditioned on this. In case of water tempering, water penetrates in interlayer area of montmorillonite, hydrates its surface and cation-exchange, so that provides swelling of the mineral. Bentonite forms firm viscous suspension with thixotropic properties during further water dilution. Montmorillonite has high cation-exchange and adsorption properties.

Bentonite presents strong colloidal properties and its volume increases several times when coming into contact with water, creating a gelatinous and viscous fluid. The special properties of bentonite (hydration, swelling, water absorption, viscosity, thixotropy) make it a valuable material for a wide range of uses and applications.

Owing to these properties bentonite has found wide application as viscous gelling agent and filtration diminishing agent in drilling muds production for well drilling and boring.

Geological setting

The Propast - Dobrovoletz bentonite deposit is discovered in 1960. Its operation starts in 1963. The bentonite from the Propast - Dobrovoletz deposit is of hydrothermal - metasomatic type. They are related to Oligocene volcanogenic – sedimentary complex which belongs to the first intermediate pyroclastic horizon [2]. The deposit is located eastern of Kurdjali town. The bentonite clays are formed in hydrothermal alteration of volcanic tuffs. They alternate by not altered tuffs in some areas in or around the deposit. The bentonite clays are covered by the products of the second acid lava - pyroclastic horizon. The clays are green, grey - greenish and yellow - greenish. They contain apatite, biotite, plagioclase, etc [2]. The main mineral is montmorillonite (Na - montmorillonite type). The caolinite is in minor amounts.

Some applications of bentonite:

- Bentonite in civil engineering applications is traditionally used as a thixotropic, support and lubricant agent in diaphragm walls and foundations, in tunnelling, in horizontal directional drilling (HDD) and pipe jacking. Bentonite, due to its viscosity and plasticity, is also used in Portland cement and mortars.
- Drilling: Another conventional use of bentonite is as a mud constituent for oil - and water - well drilling. Its role is mainly to seal the borehole walls, to remove drill cuttings and to lubricate the cutting head.

Bentonite has the best technical properties if montmorillonite contains exchanged sodium cations. The deposits of natural bentonite are located in Kardjali region, Southern Bulgaria. In Bulgaria the most well known are the deposits with 30—60% montmorillonite content, called bentonite by mistake. Practically, all Bulgarian bentonite is calcium — magnesium. Consumer properties of such bentonite, containing not less than 70% of montmorillonite, after soda ash and polymers activation might approach to natural-sodium bentonite.

Mined bentonite clay is activated with soda ash due to the consumer needs. The main consumers for such bentonite are ore mining and processing enterprises using bentonite as a binding agent in iron ore pellets. Soda ash and polymers activated bentonite clay fits with special technical specifications and has the following quality characteristics:

Technical specifications

- | | |
|-------------------------------------|---------|
| - Montmorillonite content, not less | 75 % |
| - Swelling index, not less | 14 ml/g |
| - Moisture mass fraction, not more | 21 % |
| - Effective viscosity, not less | 30 cP |

For the purpose of increasing bentonite consumer properties, as binding agent for iron ore pellets we work up and produce bentopolymer compositions. They are considered to be soda ash activated bentonite with special polymer content.

Horizontal-Directional Drilling (HDD) overview

Trenchless Technologies, known in the whole world as NO-DIG, are the variant of performance the job of underground building without opening-out ground. Trenchless Technology

makes possible to perform more than 90% of job under ground that excludes:

1. Necessity of restoration of pavement;
2. Service lines damage;
3. Congestion of main traffic arteries;
4. Breach of the habitual tempo of life;
5. Annihilation of green planting;
6. Demolition of beautification features;
7. Surface excavation, etc.

Trenchless Technologies are economically more profitable (2.5-3 times) in comparison with the traditional method. The explanation of it is the economy of means, that were spent on the development of trenches, restoration of pavement, etc. while using the open method of pipe laying. In addition, Trenchless Technologies shorten the time of performance of the work and reduce the number of staff, considerably raise the level of works safety (absence of trenches and machinery on the line of laying), and also they don't harm the environment.

There are four traditional methods of trenchless pipe driving: *horizontal drilling; piercing; punching; pipe replacement* [1, 3]

Horizontal-Directional Drilling (HDD) is a great alternative to traditional trench technology and allows to us to simply pass under both natural and artificial obstacles (rivers, dams, roads, railway embankments) leaving them untouched [1, 5].

To conduct a simple comparison between the estimated costs of HDD and the costs of the trench technology would be misleading. It is true that during the building both costs and work time are saved considerably, yet the main saving of this method lies in future prospects. In a comparative analysis of the two pipelines building's methods, it is easy to see the superiority of the HDD-Technology.

There are three stages in the laying of a pipeline:

- Drilling of the pilot drill;
- A consecutive widening of the drill;
- A pipeline's tightening.

From *CONVENTIONAL HDD PROCESS* the three-stage operation of HDD involves drilling a pilot hole, reaming and pipe installation (see Fig. 1) [5]

The pilot hole is drilled via the projected trajectory. Using provides the highest speed of drilling various types of pilot bore. The hole is widened on a stage-by-stage process. The diameter of the widened hole is by 20-25% more than pipeline's diameter. The pipeline joint is fastened to the drilling column and the reamer, and is pulled through the hole by the drill rig.

At all the drilling stages drilling fluid is used. This purifies and stabilizes the hole, minimizing the friction losses and cools off the drilling tool. The basic component of the drilling fluid is the fresh water, and bentonite, which is used for viscosity and additives for special application.

Bentonite is an ecologically clean material, because of its natural origin (clay). In addition to HDD-technology for drilling fluids (mud), it is used for the construction of ponds and dams, tunneling and all.

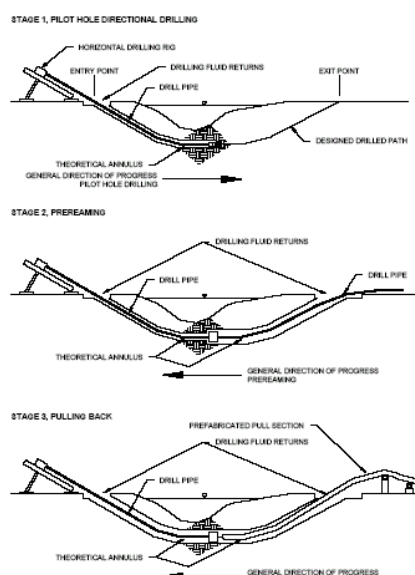


Figure 1
The HDD Process

Fig. 1. The three-stage operation of HDD process

Drilling fluid is used for a number of tasks in the HDD process including [3, 4, 5]:

- Cooling and lubricating the drill stem, mud motor and bit;
- Providing hydraulic power to the mud motor this in turn converts hydraulic power to mechanical power;
- Carrying cuttings out of the bore hole;
- Stabilizing the bore hole during the drilling process;
- Sealing fractures in the formation.

Drilling fluid is usually a mixture of freshwater and bentonite. Bentonite is naturally occurring clay that is extremely hydrophilic (i. e., has high swelling characteristics). Certain polymers may also be used that enhance the drilling fluid benefits.

A drilling fluid design plan should be established before the start of the project. This plan should also be modified, when warranted, throughout the project to ensure the drilling fluid is fulfilling its function.

The contractors' drilling execution plan should identify the equipment to be maintained onsite to check drilling fluid properties. Alterations to the mix should be made, when warranted, to stay within the proposed boundaries in the drilling fluid management plan.

A mud handling system should be onsite to ensure drilling fluid parameters are within the set standards.

Technical approach (materials and methods). Test procedures and results

A laboratory experimental program has been undertaken to develop a better quantitative understanding of the performance of bentonite, activate soda ash and polymers bentonite clays based drilling fluid for Horizontal-Directional Drilling (HDD). The Department of Economics Geology, Geochemistry laboratory and Drilling, Oil and Gas Production, laboratory

Drilling fluids and cement slurry at the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilsky" – Sofia has development a series of laboratory experiments to quantify bentonite from deposits "Propast – Dobrovolets", Kardjali district and drilling fluids performance.

Specific and standard laboratory test and experiments included standard API RP 13A Sample: section 4 BENTONITE, section 5 NONTREAD BENTONITE and section 6 OCMA Grade Bentonite [6] and API RP 13B [7].

Bentonite clays mining at these deposits contain from 30% to 60% montmorillonite, with exchange interaction containing calcium and magnesium cations. Moisture bentonite is activated by soda ash, that means that calcium and magnesium cations are replaced by sodium cations, and activated with polymers. After that bentonite properties are near to natural sodium bentonite properties.

Chemical composition of moisture bentonite clay are presented in the following table 1.

Table 1
Chemical composition of representative samples (major elements)

Chemical compound, oxides wt. %	Sample # 1 – Yellow granular	Sample # 3 – Gray-Green granular	Sample # 5 – trade mark for drilling muds
SiO ₂	64.53	60.59	57
TiO ₂	0.69	0.82	n.a.
Al ₂ O ₃	13.56	14.65	15
Fe ₂ O ₃	3.81	4.39	5
MnO	0.09	0.09	n.a.
MgO	2.85	3.34	4
CaO	6.47	5.07	6
Na ₂ O	0.24	0.68	3
K ₂ O	0.83	1.09	1
P ₂ O ₅	0.17	0.22	n.a.
SO ₃	<0.03	<0.03	n.a.
BaO	0.40	0.10	n.a.
SrO	0.02	0.01	n.a.
LOI	8.99	8.66	7

Bentonite powders #1, #3 and #5 follow the requirements of specifications API 13A and section 6 OCMA grate bentonite. The suspension properties are shown in Table 2.

From table 2 can be seen that the bentonite clays and the tested suspensions – sample # 3 (with a few exceptions) and # 5 have technological parameters according to the regulations of the standard API RP 13A which indicates the high colloids and adsorption properties. Sample # 1 doesn't comply with requirements and the standards for bentonite clays that are aimed to be used for drilling.

Bentonite powders are produced from soda ash activated bentonite clay and meet the requirements of the technical standards - bentonite powders for the drilling muds. The properties are presented in Table 3.

Table 2
Specifications suspension properties - Standard API 13A
Specification for drilling fluids materials

Requirements - Physical	Specifications suspension properties			
	Standard API 13A Specification for drilling fluids materials	Sample # 1 - Yellow granular	Sample # 3 - Gray - Green granular	Sample # 5 – bentonite for drilling mud “S & B Industrial Minerals” /old “Bentonit”, Kardjali/
Suspension properties Viscometer Fann 35 SA dial reading at 600 r/min	Minimum 30	27	39	40
Filter Volume	Maximum 16.0 cm ³ /30 min	23.5	16.5	15.0
Yield point/plastic viscosity ratio – YP/PV	Maximum 6	7	7	5
Residue of diameter grater then 0.075 mm	Maximum mass fraction 2.5 wt. %	8.5	6.5	2.3
Moisture	Maximum mass fraction 13.0 wt. %	21.5	15.3	10

Table 3
Property of bentonite slurry sample

The main specifications	Unit	Property of bentonite slurry		
		Sample # 1	Sample # 3	Sample # 5
Solution yield, viscosity 20 cP.	m ³ /t	12.2	15.1	18
Moisture mass fraction	%	22	15	10

The experience of industrial use bentonite on deposits a “Propast – Dobrovolets”, enterprises in 2006 had shown that bentonite produced by “S & B Industrial Minerals”, Kardjali of the highest quality for drilling fluids production, due to the mud yield, surpassing all the other bentonite products. High colloidity and high ability to disperse in water, in combine with domestic or import polymer reagents let to increase the quality of drilling fluids, improve washover of horizontal directional drilling boreholes; give 20-30 % reduction of polymer reagents consumption.

We project and design in laboratory “Drilling fluids and cement slurry” high quality bentonite suspension activated by soda ash and special polymer additives for rapid development of draw-in construction of underground communications by horizontal directional drilling method. The quality characteristics of bentonite suspension for drilling fluids intended for horizontal directional drilling boreholes are

presented in the Table 4. All laboratory tests made and included standard API RP 13B.

Design activated bentonite suspension (Sample #5 – 3% bentonite for drilling mud; 0.1 soda ash Na₂CO₃ and 0.75% Na-polymer) for drilling fluids used in directional drilling have high technological properties:

- high reological properties of the suspension;
- low sand content;
- short time of dispersion;
- forms a tight, thin filter cake in unstable formations;
- mixes quickly;
- high yield of suspension;
- eliminates clay and shale swelling, bit balling and sticking problems.

Table 4
Characteristics and properties of Bentonite suspension for drilling mud's

Properties	Product concentration and specifications suspension properties			
	Unit	Sample # 5a 3% bentonite 0.1% Na ₂ CO ₃ 0.75% polymer	Sample # 3 - Gray - Green Granular Non acivated	Sample # 5 – bentonite for drilling mud “S & B Industrial Minerals” /old “Bentonit”, Kardjali/
Specific gravity, SG	Kg/L	1.035	1.05	1.04
Marsh viscosity	Sec/L	40	36	38
Rheology - Viscometer Fann 35 SA dial reading at 600 r/min 300 r/min 200 r/min 100 r/min 6 r/min 3 r/min	Dial reading	46 35 30 24 11 9	22 17 14 11 6 4	32 25 22 18 10 8
Filter Volume API (100PSI @ 20 °C)	cm ³ /30min	12.5	18	15.0
Filter cake	mm	1.0	2.5	1.5
Plastic viscosity, PV	cP	11	5	7
Yield point, YP	Lb/100ft ²	24	12	18
Gel 1min/10min	Lb/100ft ²	11/15	4/8	10/14
pH		9.0-10.0	8.5-9.0	9.5-10.0

Sand content	% vol.	< 0.5	2.0	< 0.5
Free water dreg after 24 hours	ml	0.1	2.5	1.0
Yield of suspension	m ³ /t	22	15.1	18

The comparative analysis of the technological parameters of the prepared drilling muds, particularly in the yield of suspensions, show that it's imperative to activate bentonite clay with soda ash and with polymers if it's necessary.

Bentonite provides polymer-clay drilling fluids creating with technical requirements for horizontal direction borehole washover in sand-clay rocks that makes possible to receive 1.03-1.04 kg/L suspension density, 35-42 sec/L Marsh funnel viscosity and pH=9.5-10.5 in normal drilling condition that presents high bentonite colloidity and high dispersion ability in water. For best results water acidity is needed to be regulated with soda ash or ammonia soda to the 8.5–9.0 pH level.

Conclusion and final remarks

Taking in account performed laboratory tests we could conclude:

- Bentonite powders Sample # 5 and granular Sample # 3 follow the requirements of specifications API 13A OCMA grate bentonite;

Recommended for publication by the Department of Geology and Prospecting of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Prospecting

- In laboratory condition design and testing high quality bentonite suspension activated by soda ash and special Na-polymer additives for horizontal direction drilling;
- Bentonite powders for drilling fluids used in directional drilling have high technological properties: high reological properties of the suspension, low sand content, short time of dispersion and high yield of bentonite slurry.

References

- API RP 13A Specification for drilling fluids materials, fifteenth edition, 1993.
API RP 13B Recommended Practice Standard Procedure for Field-testing Drilling Fluids. Tenth Edition, 1984.
Drilling fluids for mineral exploration, M-I HDD, Mining & Waterwell Manual, 2005.
Mud Mixing Fluids HDD, Underground construction (water, sewer, gas & telecom), 61, 9, September 2006, 38-49.
Papp, J. 2001. Water-based drilling fluids. – *National Driller*, 20, 5, May 31.
Златанов, В. Н., Г. Николов, М. Харизанов. 2007. Дълги хоризонтални сондажи с голям диаметър. – *Геология и минерални ресурси*; 3, 23-30.
Неметални полезни изкопаеми в България, I, Екзогенни промишлени минерали и скали. С., Техника, 1988, 268 с.

MINERAL COMPOSITION OF THE BREZNIK-BARDOTO AU EPITHERMAL ORE OCCURRENCE (PRELIMINARY DATA)

Stanislav Stoykov¹, Strashimir Strashimirov¹, Robert Moritz², Dimitur Dimitrov³, Jivko Todorov³

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; sstoykov@mgu.bg

²University of Geneva, Geneva 1205

³Euromax, Resources Ltd, Sofia, Bulgaria

ABSTRACT. The Breznik epithermal gold prospect is located in the western part of the Srednogie zone of the Late Cretaceous Banat-Timok-Srednogie belt and it is hosted in hydrothermally altered Late Cretaceous volcanic and volcanoclastic rocks of andesitic, trachyandesitic and trachybasaltic composition. The Bardoto prospect involves the central part of the ore occurrence and it is characterised by ore mineralisation typical for the Au epithermal deposits formed at low temperatures. Mineralogical studies found ore minerals pyrite, arsenian pyrite (As content within 7–10 wt. %), chalcopyrite, galena, sphalerite, tennantite, tetrahedrite, native gold, electrum, pyrrhotite, magnetite, hematite, marcasite, covellite, chalcocite, malachite, cerussite and others. paper discussed presence of trace elements in the main ore minerals based on data from quantitative microprobe analyses and preliminary data from fluid inclusion studies.

МИНЕРАЛЕН СЪСТАВ НА АУ-ЕПИТЕРМАЛНОТО РУДОПРОЯВЛЕНИЕ БРЕЗНИК-БЪРДОТО (ПРЕДВАРИТЕЛНИ ДАННИ)

Станислав Стойков¹, Страшимир Страшимиров¹, Роберт Мориц², Димитър Димитров³, Живко Тодоров

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; sstoykov@mgu.bg

²Женевски университет, Женева 1205

³Euromax, Resources Ltd, Sofia, Bulgaria

РЕЗЮМЕ. Епитеармалното златно рудопроявление Брезник се намира в западната част на Средногорската зона от Апусени- Банат – Тимок – Средногорския пояс и е вместиено в хидротермално променени горнокредни вулкански и вулканокластични скали с андезитов, трахиандезитов и трахибазалтов състав. Участък Бърдото обхваща централната част на рудопроявлението и в него се установява рудна минерална асоциация характерна за епитеармалните златни находища, образувани при ниски температури. При минераложките изследвания са установени рудните минерали пирит, арсенсъдържащ пирит (със съдържание на As между 7 и 10 тегл. %), халкопирит, галенит, сфалерит, тенантит, тетраедрит, самородно злато, електрум, пиротин, магнетит, хематит, марказит, ковелин, халкозин, куприт, малахит, церусит и др. В работата се разглеждат присъствието на елементи-примеси в главните рудни минерали по данни от количествен рентгеноспектрален анализ и се привеждат получени предварителни данни от изследване на флуидни включения в минералите.

Introduction

The Bardoto prospect is a part of Breznik epithermal gold occurrence, which is located in the Western Srednogie zone, near the town of Breznik, approximately 35 km west from Sofia. The zone is within the frame of the Late Cretaceous Apuseni-Banat-Timok-Srednogie belt, which is a major copper and gold metallogenic province in the South-Eastern Europe. This province is characterized mainly by porphyry-Cu and Au-Cu epithermal deposits, which are typically clustered in major mining districts, such as Bor-Madjanpek in Serbia and the Panagyurishte ore district in Bulgaria, separated from each other by segments, in which numerous ore occurrences are known, but no any large ore deposit are found till now.

Geological setting

The Breznik prospect is hosted by Late Cretaceous volcanic and volcanoclastic rocks of andesitic, trachyandesitic and

trachybasaltic composition, intruded by porphyry stocks and dikes of gabbrodioritic composition belonging to the Western Srednogie belt. Basement rocks in the Breznik area consist of Precambrian gneiss and schists, Cambrian-Devonian mafic volcanic rocks, Paleozoic granitic intrusions, Permian-Triassic clastic sedimentary rocks, and Jurassic-Cretaceous limestone, shale and sandstone.

The hydrothermal alterations and data about the ore mineralization have been described by Velinov (1967), Velinov and Kanazirski (1990) and Crummy et al. (2001) (Fig. 1). The altered and mineralized area is EW-oriented and covers an area of approximately 2.5 by 1.5 km. The prospect is subdivided into one northern and one southern mineralized area with distinct types of alteration and metal enrichments.

The northern part displays an advanced argillic alteration with small and shallow zones consisting of quartz, kaolinite and alunite surrounded by an alteration halo with kaolinite and sericite. This part of the prospect shows local anomalies of Mo, Te and Au (locally over 2 g/t).

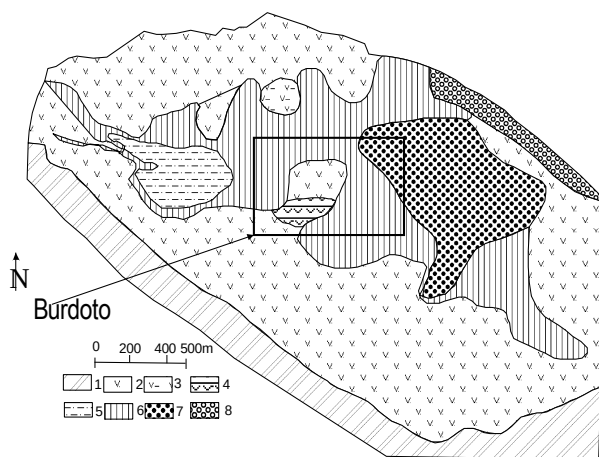


Fig. 1. Schematic geological map of the region south of Breznik (after Velinov, 1967) with additions.

1 – Tuff-marl complex; 2 – Agglomerates, pyroxene and pyroxene-amphibole tuffs, epidote-chlorite facies, 3 – Uralite-epidote-chlorite facies, 4 – actinolite-epidote-chlorite facies, 5 – Quartz-epidote-cericite facies, 6 – Quartz-sericite facies, 7 – Alunite-quartz facies, 8 – Tertiary sediments

Ore mineralogy

Data about the mineral composition of ores in the area are very limited. Previous studies of ore minerals (Crummy et al., 2001) mentioned an interval of 1 m thick in drill hole carried out in the northern part of the prospect relatively rich of ore minerals. The assemblage includes minerals such as enargite, luzonite, tennantite, tetrahedrite, pyrite, chalcopyrite, goldfieldite, arsenosulvanite, colusite, galena-claustalite, Au-Ag tellurides, typical for the high sulphidation type of mineralisations. In the same paper also are mentioned presence of minerals like galena, sphalerite, bournonite, arsenopyrite, marcasite, argentite and Co-Ni-Fe-S phases, native gold and electrum, but no any additional data are provided for their distribution and chemical composition.

The recent study is based on samples from the area Bardoto, which is a part from the mineralised zone of Au-epithermal occurrence Breznik. Following ore minerals are determined in the samples – pyrite, (also arsenian pyrite) chalcopyrite, galena, sphalerite, tennantite, tetrahedrite, pyrrhotite, native gold, electrum, magnetite, hematite, marcasite, ilmenite, chalcocite, covellite, malachite, cuprite and cerussite.

Pyrite is the most often found ore mineral in the samples studied. It forms mainly semi-euhedral, xenomorphic, euhedral or rarely colloform rounded grains and aggregates within 20 μm up to 2 – 3 sm. Larger aggregates are usually slightly fractured and cemented by gangue or later formed sulphide minerals. On the basis of its textures and chemical composition at least three varieties of pyrite could be distinguished. The first one is related with the pre-ore hydrothermal alteration and it is presented by fine disseminated grains of pyrite without any trace elements over 0.0n wt. % in it. The second one associates with other sulphide minerals which often corroded or cut it (Plate C). In some of its relatively larger aggregates are found fine grains (20–50 μm) with well-expressed anisotropic features, grey-yellowish color and distinct lower reflectivity compared with the normal pyrite. Quantitative microprobe analyses established in this variety significant

content of Cu and lower content of Ni (Table 1, an. # 1). The most unusual is the third variety of pyrite forming rounded colloform aggregates with zonal texture (Plate A, B and D). Their central parts are set up by pyrite containing Cu and As about 0.5 wt.% (Table 1, an.# 2) and they are rimmed by bends of pyrite with extremely high content of As and significant contents of Cu and Sb (Table 1, an. ## 3, 4 and 5). These bends are isotropic but they look distinctly darker compared to the central parts of aggregates. Their color in reflected light is creamy grayish with slight pink tarnish, the reflectivity is lower compared to typical for pyrite (probably about 45 – 48 %). The most outer part of the aggregates comprises very fine crystals of marcasite.

The problem of isomorphic form of presence of As, Cu and Sb in pyrite is one of the most discussed in literature about chemistry of this mineral. The described findings with high As content could be nominated as arsenian pyrite according Chvileva et al. (1988) which mentioned that As content in this variety could reach 14.5 % and Sb up to 2 %. Colloform textures are very typical for it as it is in this case.

Low concentrations of As in pyrite as trace element are found in numerous deposits in Bulgaria, especially in copper deposits from the Srednogie zone. Higher content of As (4.08 wt.%) is reported for pyrite in the Sedmochislenitzi low-temperature (telethermal) Pb-Zn-(Cu) deposit (Vratza ore region, Western Stara Planina) by Shadlun et al. (1975). Petrunov (1994) mentioned high content of As in pyrite from Chelopech Au-Cu deposit from the Central Srednogie zone.

Chalcopyrite associates with pyrite as irregular aggregates cutting early formed pyrite (Plate C) or fine nests among large pyrite aggregates (Plate E). Typical is the association of chalcopyrite with tennantite (Plate F). In some cases tennantite rims chalcopyrite (Plate C) and in the other marginal parts are set up by chalcopyrite and it seems that tennantite replace it. The most probable is that both minerals are formed in narrow interval of mineralisation process and both relations between them are available. Marginal part of chalcopyrite from upper levels is replaced by secondary copper minerals such as chalcocite and covellite. Fine chalcopyrite emulsion is rarely found in larger sphalerite grains.

Quantitative microprobe analysis of chalcopyrite established also significant a high content of As and low presence of Sb (Table 1, an. # 6). Such high content of As is not typical for chalcopyrite and additional analyses are obvious for precise determination of chemical composition of this mineral.

Galena presents as fine isometric slightly rounded inclusions in pyrite (Plate D) and as irregular shaped inclusions rarely in chalcopyrite (Plate C). Inclusions found in pyrite do not contain any trace elements while these found in chalcopyrite are characterized by presence of Se and Ag (Table 1, an. # 7 and 8).

Due to the relatively minor size of analyzed grains, the contents of Fe and part of Cu registered in them are probably a result of influence of the chalcopyrite matrix. That is why crystallochemical formulas are calculated taking into account the contamination of chalcopyrite and excluding Fe and corresponding Cu from analyses.

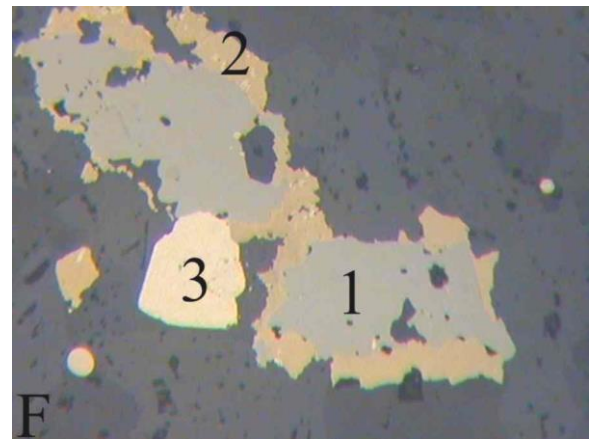
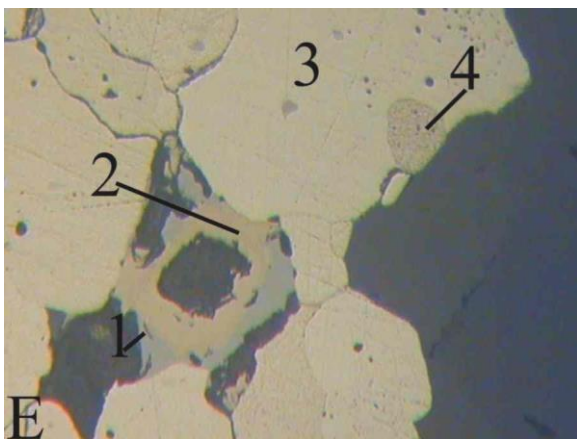
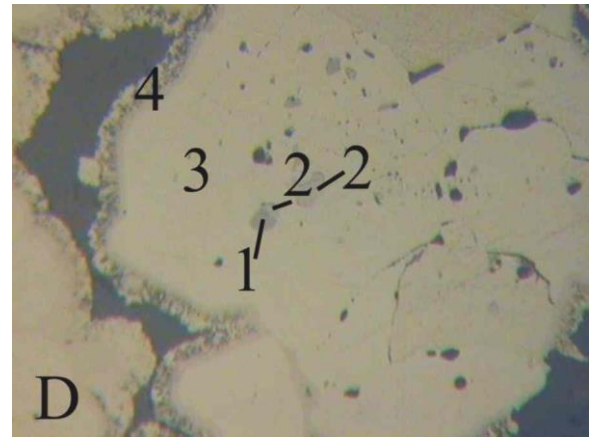
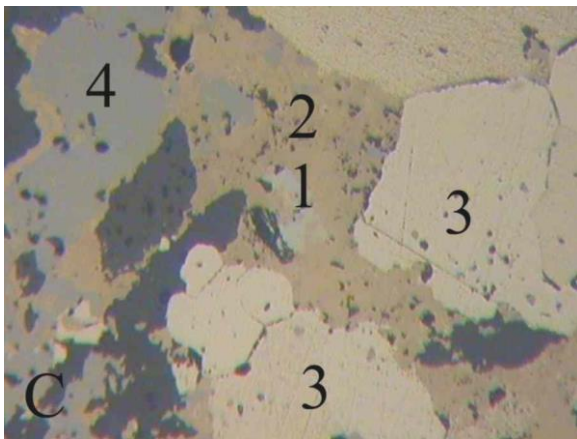
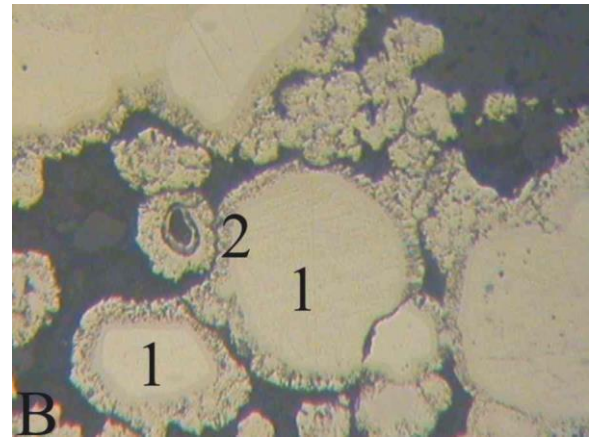
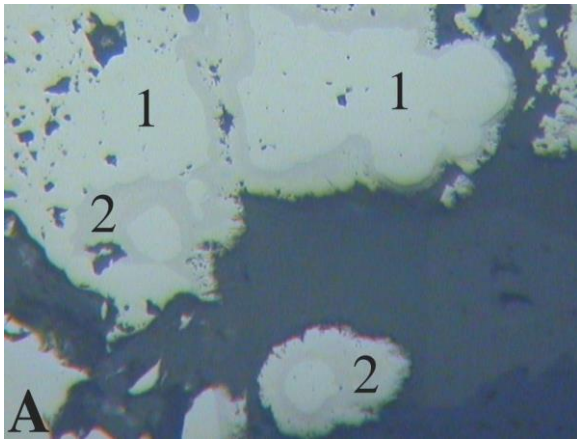


Plate A. Pyrite (1) rimmed by As-pyrite containing (2) As between 7 – 10 wt.%, Il N, (Size of the observation field of all plates = 320 μ m).
 Plate C. Irregular inclusion of Se-bearing galena (1) in chalcopyrite (2) crosscutting pyrite (3) aggregate. (4) – tennantite, Il N.
 Plate E. A rim of tennantite (1) around chalcopyrite (2) as fine nest among larger pyrite aggregate (3). (4) – inclusion of slightly rounded Cu-rich anisotropic pyrite in matrix of normal pyrite, Il N.

Plate B. Atol-like textures of pyrite (1) aggregates rimmed by marcasite and As-pyrite (2), Il N.
 Plate D. Inclusions of tetrahedrite (1) and galena (2) in pyrite (3) rimmed by marcasite and As-pyrite (4), Il N.
 Plate F. Tennantite (1) replacing central part of chalcopyrite (2) aggregate. (3) – semi-euhedral pyrite grain, Il N.

Table 1

Results from quantitative microprobe analyses (Breznik, # 16276, drill hole 525, level – 169 m)

No	element wt.%) mineral	Ag	Ni	Sb	Fe	Cu	Zn	Pb	As	Se	Mn	S	Total
1	pyrite	0.0	0.22	0.0	46.09	0.56	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.00	99.85
2	pyrite	0.0	0.0	0.0	45.88	0.67	0.0	0.0	0.45	0.0	0.0	52.51	99.50
3	As-pyrite	0.0	0.16	2.92	39.53	1.97	0.0	0.0	8.92	0.0	0.0	46.91	100.41
4	As-pyrite	0.0	0.0	2.09	39.40	1.75	0.0	0.0	9.38	0.0	0.0	46.44	99.05
5	As-pyrite	0.0	0.15	1.26	39.40	1.75	0.0	0.0	10.96	0.0	0.0	46.14	99.06
6	chalcopyrite	0.0	0.0	0.20	26.49	36.28	0.0	0.0	4.19	0.0	0.0	32.00	99.15
7	galena+Se	1.16	0.0	1.81	1.26	3.06	0.18	78.28	0.0	0.62	0.0	13.39	99.76
8	galena+Se	0.92	0.0	0.62	1.90	3.65	0.0	77.72	0.0	1.80	0.0	13.40	100.01
9	tennantite	0.30	0.0	0.57	5.94	40.05	0.0	0.0	23.69	0.0	1.95	27.59	100.09
10	tennantite	0.88	0.0	0.75	3.82	40.86	0.0	0.0	23.67	0.0	2.87	27.06	99.90
11	tennantite	0.76	0.0	0.95	4.94	41.02	0.0	0.0	22.51	0.0	2.57	27.20	99.83
12	tetrahedrite	2.04	0.0	20.81	2.67	37.23	6.00	0.0	8.14	0.0	0.0	23.34	100.23

Crystallochemical formulae:

1. $(\text{Fe}_{0.99}\text{Cu}_{0.01}\text{Ni}_{0.01})_{0.01}\text{S}_{1.99}$
2. $(\text{Fe}_{0.99}\text{Cu}_{0.01})_{1.00}(\text{S}_{1.98}\text{As}_{0.01})_{1.99}$
3. $(\text{Fe}_{0.91}\text{Cu}_{0.04})_{0.95}(\text{S}_{1.97}\text{As}_{0.15}\text{Sb}_{0.03})_{2.05}$
4. $(\text{Fe}_{0.91}\text{Cu}_{0.04})_{0.95}(\text{S}_{1.97}\text{As}_{0.16}\text{Sb}_{0.03})_{2.05}$
5. $(\text{Fe}_{0.92}\text{Cu}_{0.02})_{0.94}(\text{S}_{1.85}\text{As}_{0.19}\text{Sb}_{0.01})_{2.05}$
6. $\text{Cu}_{1.09}\text{Fe}_{0.90}(\text{S}_{1.90}\text{As}_{0.11})_{2.01}$
7. $(\text{Pb}_{0.86}\text{Cu}_{0.11}\text{Sb}_{0.03}\text{Ag}_{0.03})_{1.03}(\text{S}_{0.95}\text{Se}_{0.02})_{0.97}$
8. $(\text{Pb}_{0.85}\text{Cu}_{0.13}\text{Ag}_{0.02}\text{Sb}_{0.01})_{1.01}(\text{S}_{0.94}\text{Se}_{0.05})_{0.95}$
9. $(\text{Cu}_{9.34}\text{Fe}_{1.58}\text{Mn}_{0.53}\text{Ag}_{0.04})_{11.49}(\text{As}_{4.69}\text{Sb}_{0.07})_{4.76}\text{S}_{12.76}$
10. $(\text{Cu}_{9.62}\text{Fe}_{1.02}\text{Mn}_{0.78}\text{Ag}_{0.12})_{11.54}(\text{As}_{4.73}\text{Sb}_{0.09})_{4.82}\text{S}_{12.63}$
11. $(\text{Cu}_{9.63}\text{Fe}_{1.32}\text{Mn}_{0.70}\text{Ag}_{0.10})_{11.75}(\text{As}_{4.48}\text{Sb}_{0.12})_{1.60}\text{S}_{12.65}$
12. $(\text{Cu}_{9.70}\text{Zn}_{1.52}\text{Fe}_{0.79}\text{Ag}_{0.31})_{12.32}(\text{Sb}_{2.83}\text{As}_{1.80})_{4.63}\text{S}_{12.05}$

Sphalerite is also in minor quantity but relatively much often found compared to galena. It forms fine xenomorphic nests in association with the rest of sulphide minerals. It is observed as well fine veinlets in fractures of pyrite aggregates. Some of its grains are rimmed by tennantite. Chalcopyrite dissemination in it is not typical although it is observed in some cases. The size of its grains and aggregates usually is below 1 mm.

Tennantite is often found in association mainly with chalcopyrite (Plate C). It forms thin rims around it (Plate E) or it replaces larger chalcopyrite aggregates (Plate F). Chemical composition of tennantite studied by quantitative microprobe analyses show constant presence of trace elements such as Ag, Fe and Mn. A very low Sb content determines the phases very close to the end-member of tennantite-tetrahedrite serie. Relatively high Fe content nominate it as feroan tennantite according classification offered by Chvileva et al. (1988) where maximal iron content in tennantite established is mentioned as 7 wt. %. Very high is also Mn content which normally is typical one for tetrahedrite. It should be mentioned that the most tennantite phases analyzed in samples from deposits in the Central Srednogie contain Zn, an element which is not detected in this case. The silver content is relatively low but taking into account the presence of tennantite in ores it should be registered as potential carrier of this element.

Tetrahedrite has a very rare distribution in samples studied. It is found only as small rounded inclusions in pyrite (Plate D) in association with galena. Their size is within 10 – 30 µm. Analyzed grain is characterized by relatively high As content (up to 8.17 wt.%, Table 1, an. # 12) so it could be concluded that the most phases from tennantite-tetrahedrite serie found in this ore occurrence are much more belonging to the As rich and intermediate sector of the row. Zn content is high and the phase could be nominated as Zn-rich tetrahedrite. Compared with described above tennantite this phase has relatively higher Ag content (up to 2 wt. %).

Pyrrhotite forms single slightly rounded inclusions with minor size in larger pyrite aggregates. It is very rare in samples studied.

Native gold is not observed in the samples studied but in prospecting reports it is reported as presenting as fine inclusions within 10 – 100 µm. Four microprobe analyses of gold inclusions established native gold (Au 935 ‰) as well as electrum (Au 730 – 740 ‰).

Magnetite observed in the mineralization probably is a relict from the accessory minerals of the host rock and it is also formed at the beginning of the ore mineralization stage as fine grains in quartz. Its distribution in samples is very rare.

Hematite is a result of martitisation of magnetite during the changes of oxi-reductional potential of the environment. It is observed the most often as fine veinlets in the marginal parts of magnetite grains. In some cases intergrowths with ilmenite also presents.

Secondary copper minerals (chalcocite, covellite, cuprite and malachite) are formed as result of supergenic destruction of chalcopyrite. Chalcocite and covellite are developed as fine veinlets and rims along the periphery of chalcopyrite grains. Malachite and cuprite are observed as fine veinlets in quartz. All of them have rare distribution at the upper part of the mineralised zone.

Cerussite has a very rare distribution as a rim around galena grains.

Gangue minerals are presented mainly by quartz developed in 4 generations. The first one is related to the pre-ore metasomatic alterations and it associates with fine-grained pyrite. The rest three generations form fine veinlets and veins within several mm up to 15–20 cm. The most outer part is formed by chalcedony-like quartz.

Other gangue minerals observed in the zone are calcite, hydromica, chlorite, barite and gypsum.

The gold content in the analyzed samples from the Bardoto prospect is a part of Breznik epithermal gold occurrence varies from 1.99 to 12.17 ppm. The Au ones from 11.6 to 46.7 ppm, the Cu one from 231 to 231.

Table 2
Chemical composition of representative samples (trace elements)

Elements (in ppm)	1	2	3	4	5
As	1189	1832	2974	549	1251
Bi	<10	<10	39	21	<10
Cd	<10	24	22	<10	14
Co	<10	<10	28	10	<10
Cr	50	35	48	65	71
Cu	647	231	1179	231	713
Mo	<10	<10	<10	<10	<10
Ni	13	26	24	22	13
Pb	4926	1270	2278	1134	1387
Sb	16	259	40	41	143
Sn	79	<20	<20	<20	<20
Se	<10	49	16	12	10
Te	12	<10	21	<10	17
Ag	22.4	46.7	44.6	13.7	11.6
Au	6.69	11.02	12.17	1.99	7.18

Fluid inclusion studies

Fluid inclusion studies are provided on 4 samples and they should be accepted as preliminary. The first sample includes quartz from breccia consisting of altered granodioritic

fragments in a zoned matrix with crustification containing magmatic quartz in the intermost bands, surrounded by intergrown fine-grained silica, chalcedony and euhedral quartz. The intermost magmatic quartz has trapped coexisting assemblages of vapour-rich and liquid rich inclusions. The salinity of the liquid rich inclusions is within 20.7–26.6 wt. % NaCl eqv. One of the liquid inclusion shows salinity within 0.5–3.2 wt. % NaCl eqv. Homogenization temperature is high – about 400° C for both types of inclusions. Coexistence of these two types suggests possibility of development of boiling events during this stage of the process. The intermost magmatic quartz is separated from the typical hydrothermal quartz by a zone of fine grained silica, deposited as silica gel. Such textural relationship is similar to the recognized for magmatic-hydrothermal systems as it is described for instance in Refugio district of the Maricunga belt (Chile) where it is interpreted as being the result of a sudden pressure drop (Muntean and Einaudi, 2000). The later formed hydrothermal quartz post-dating the fine-grained silica gel event only contains single phase, vapour rich inclusions with traces of CO₂ as detected by Raman spectroscopy occurring typically along growth zones. This indicates that after the sudden pressure drop deposition of hydrothermal minerals occurred in vapour-dominated environment.

Late stage fluids are recognized in paragenetically late dolomite and Mn-rich carbonate in samples from drill cores from northern and southern part of the prospected area. Inclusions occur along well-defined growth zones and they have high liquid to vapour rich ratio at room temperature. The inclusions have homogenization temperature within 58–76° C with exception of one inclusion that has salinity of 10 wt. % NaCl eqv. These inclusions are interpreted as a late low temperature brine with moderate salinity reflected a basinal brine or possibly condensate-absorbed magmatic fluid in groundwater.

Conclusions

Data obtained show some differences in mineral composition of ores reported by Crummy et al. (2001) for the northern part of the area. Mineral association reported by mentioned above authors is much more typical for high to intermediate sulphidation type of copper-gold deposits. The absence of enargite, luzonite, arsenosulfanite, colusite and other minerals usually found in the high sulphidation type here are not observed. Arsenium presents in high quantity in arsenian pyrite, which is one of the rare findings of this variety for the country. It is registered also in chalcopyrite and As-rich members of tennantite-tetrahedrite series distinctly dominate in the samples studied. From this point of view misevaluation should be nominated as transitional type between intermediate to low sulphidation type of Au epithermal deposits.

Evidences of boiling and relatively high temperatures of homogenisation of inclusions found in quartz, which is probably of magmatic origin, support the presumption of development of a porphyry system in depth below the gold mineralization.

Acknowledgements. This study was and is supported by the Swiss National Science Foundation (the SCOPES program (grant IB7320-111046) and the Bulgarian National Science Foundation (Grant NZ-1412). We thank Balkan Mineral and Mining, and Euromax Resources for support during fieldwork, sharing information and data, and access to and sampling of the drill cores.

References

- Chvileva T., M. Bezsmertnaja. 1988. *Qiudebook for ore minerals in reflected light*. – Moscow, Nedra, 504 p. (in Russian).
- Crummy, J., I. Mutaftchiev, I., Velinov, R., Petrunov. 2001. The Breznik epithermal Au occurrence, Western Srednecore – Bulgaria: an “atypical”(?) low-sulphidation hydrothermal system. In: Piestrzynski, A. et. al., (eds), *Mineral deposits at the beginning of the 21st century*, Balkema, Lisse, *Proceedings 6th biennial SGA meeting, Cracow, Poland*, 723-726.
- Muntean, J., M. Einaudi. 2000. Porphyry gold deposit of the Refugio district, Maricunga belt, Northern Chile. – *Economic Geology*, 95, 1445–1472.
- Petrunov, R. 1994. *Mineral parageneses and physicochemical conditions of ore-forming process in the Chelopech deposit*. Abstract of Ph. D. thesis, (in Bulgarian), Sofia, 1994, 42 p.
- Shadlun T., N. Troneva, V. Velchev. 1975. Arsenian pyrite and bravoite from the Sedmochislenitzi deposit. – In: Chuhrov F., B. Borutzkii, N. Mozgova (ed.). Isomorphism in minerals. (in Russian) – Moscow, Nauka, 313 p.
- Velinov, I. 1967. Propylites and alunite quartzites in the region of Breznik. – *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 16, 205-220 (in Bulgarian with English abstract).
- Velinov, I., M. Kanazirski. 1990. Formation nature and physico-chemical analysis of mineral parageneses in the metasomatic zones of acid leaching in the Western Srednecore. – *Geologica Balkanica*, 20, 59-71.

Recommended for publication by the Department of Geology and Prospecting of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Prospecting

MINERALOGICAL, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF LIMESTONE ROCKS IN MA'AN AREA, SOUTH JORDAN

Khalid Tarawneh, Salah Al-Thyabat,, Mohammad Al-Harashsheh

*Al Hussein Bin Talal University, Faculty of Mining and Environmental Engineering,
P.O. Box 20, Ma'an, Jordan; khtarawneh1@yahoo.com, ksalim@ahu.ed.jo*

ABSTRACT. Jordan limestone has a broad distribution and occurs in several stratigraphic levels. It is used for construction of composite wall for aesthetic purposes, as thin polished tiles (marble), floor tiles and monumental architecture or dry stonewalling that characterizes the countryside of Jordan buildings.

The main goal of this study is to characterize the limestone rocks in Ma'an area in southern part of Jordan and to assess their suitability for building stone. For this purpose a detailed geological, petrographic and physico-mechanical tests were carried out on some representative samples of this area aiming at establishing a better understanding of the important properties of these rocks. It is shown that the controlling factor of the classification of Ma'an area limestone is the uniaxial unconfined compressive stress.

Keywords: Jordan; petrographic; physico-mechanical; limestone; classification.

МИНЕРАЛОЖКИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА НА ВАРОВИКОВИ СКАЛИ ОТ РАЙОНА НА МА'АН, ЮЖНА ЙОРДАНИЯ

Халид Тараунех, Салах Ал-Тиабат, М. Ал-Харахи

*Университет "Ал Хусейн Бин Талап", Факултет по минно инженерство и опазване на околната среда
P.O. Box 20, Ma'an, Jordan; khtarawneh1@yahoo.com, ksalim@ahu.ed.jo*

РЕЗЮМЕ. Варовиковите скали са широко разпространени в различни стратиграфски хоризонти на Йордания. Те се използват при строителство на сгради с естетически издържани стени, както и за фино полиране на керамични стенни и подови плочки, за архитектурни паметници или за сухо облицоване на външните стени на зданията, което е много характерно за сградите в Йордания.

Основната задача на това проучване е да характеризира варовиковите скали от областта Ма'ан, Южна Йордания и да определи тяхната полезност като строителна суровина. За тази цел бяха проведени детайлни геоложки, петрографски и физико-механични анализи на някои представителни проби от тази област, с цел по-задълбочено изясняване на основните качества на тези скали. Установено бе, че контролният параметър, класифициращ варовиковите скали от района на Ма'ан е едноосовото, неограничено натиск-натоварване.

Ключови думи: Йордания, петрографски, физико-механически, варовикови скали, класификация.

Introduction

Limestone rocks, which are dominantly of limestone lithologies, covering most of Jordan, are quarried from different horizons of Upper Cretaceous and Tertiary.

These rocks are mainly used for building stone. It is estimated that Jordan annual production of building stones is about 10 million linear meters produced from more than 130 quarries. More than 3 million of this production is produced from Ma'an area. This indicates the importance of this area as a main source of Jordanian building stone and the necessity to investigate the occurrences of these rocks in Ma'an area.

The main objective of this work is to characterize the limestone rocks in Ma'an area in order to assess their suitability for building stones. Therefore detailed geological, petrographic and physico-mechanical tests were carried out on some selected limestone samples from this area.

Geological setting

The limestone package in the study area is located in the upper part of the Umm Rijam Chert-Limestone Formation (URC) which represents the uppermost unit of the Belqa Group as shown in Figure 1.

The URC, which reach up to 50 m in thickness in Ma'an area, is predominantly consisting of chalk, bedded chert and limestone (Figure. 2). A prominent package of 5-12 m thick consisting of chalk and chalky limestone marks the basal part, whereas the middle part consists of chalk and chalky limestone alternated with phosphatic limestone, thin chert beds with local limestone and chert concretions.

The upper part of URC represents the economic part where building stones are mined by open quarrying. However, this package composed of chalk and chalky limestone, predominantly nummulitic type (Tarawneh, 2004).

The term Ma'an stone refers to the upper part of the URC due to the abundance of specific foraminifera known as nummulitic limestone. The presence of *Nummulites gizehensis*

in Ma'an and Gharandal areas suggests a middle Eocene age and upper Eocene (Bender, 1974; Wetzel Morton, 1959). The Tethys Ocean covered most of Europe, North Africa and SW

Asia including the study area during Eocene. Sub-aqueous marine transgression drowned emergent highs and led to deposition of such nummulitic limestone in the study area.

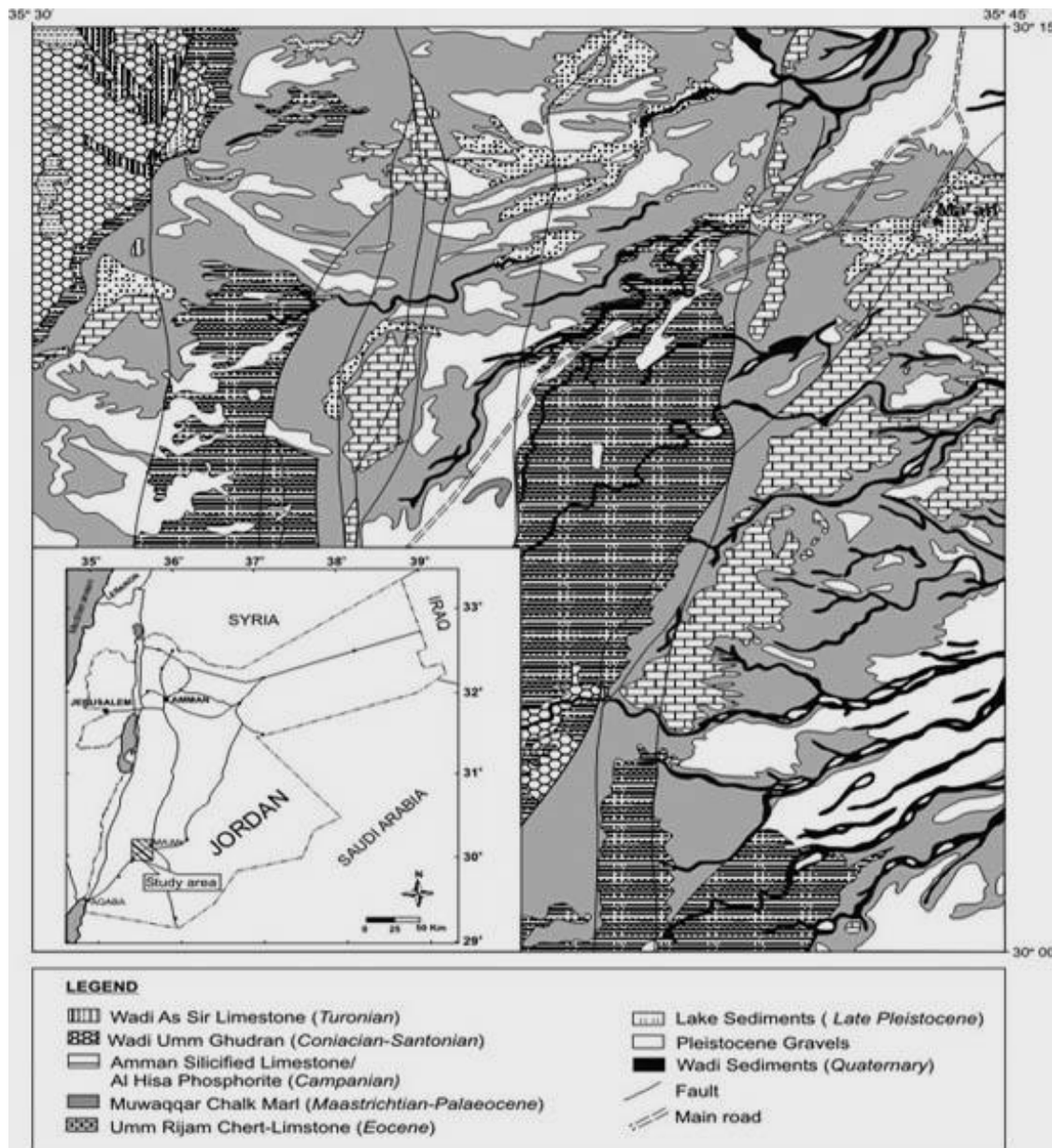


Fig. 1. Geological map of the study area (Tarawneh, 2004)

This facies is a precursor of the widespread regression on the Arabian platform in the late Eocene (Bender, 1974). The nummulitic grainstones were probably deposited in shallow water (Powell, 1988).

Four beds of nummulitic limestone are recognized in the study area as shown in Figure 2. Their thickness is in the range between 0.4-0.8 m. Due to the influence of geological structures in the area, the basal bed shows lateral changes in thickness (up to 0.8 m thick) (Tarawneh, 2004). The nummulitic limestone has a broad distribution in Ma'an area and located at different stratigraphic levels up to 25 m below the ground surface.

Everywhere in the study area the exploited nummulitic limestone is characterized by its purity and homogeneity. In some cases the nummulitic limestone bed is influenced by imperfections that include coloration due to the iron and manganese solution. Sometimes this bed is characterized by the presence of chert, silicification and cavities filled with weak shelly materials (Moh'd, 1996).

The nummulitic limestone beds are alternated with thin beds of reddish chalk rich in *Thalassinoids* burrows, which is very specific particularly for beds of the upper part of the URC in the study area.

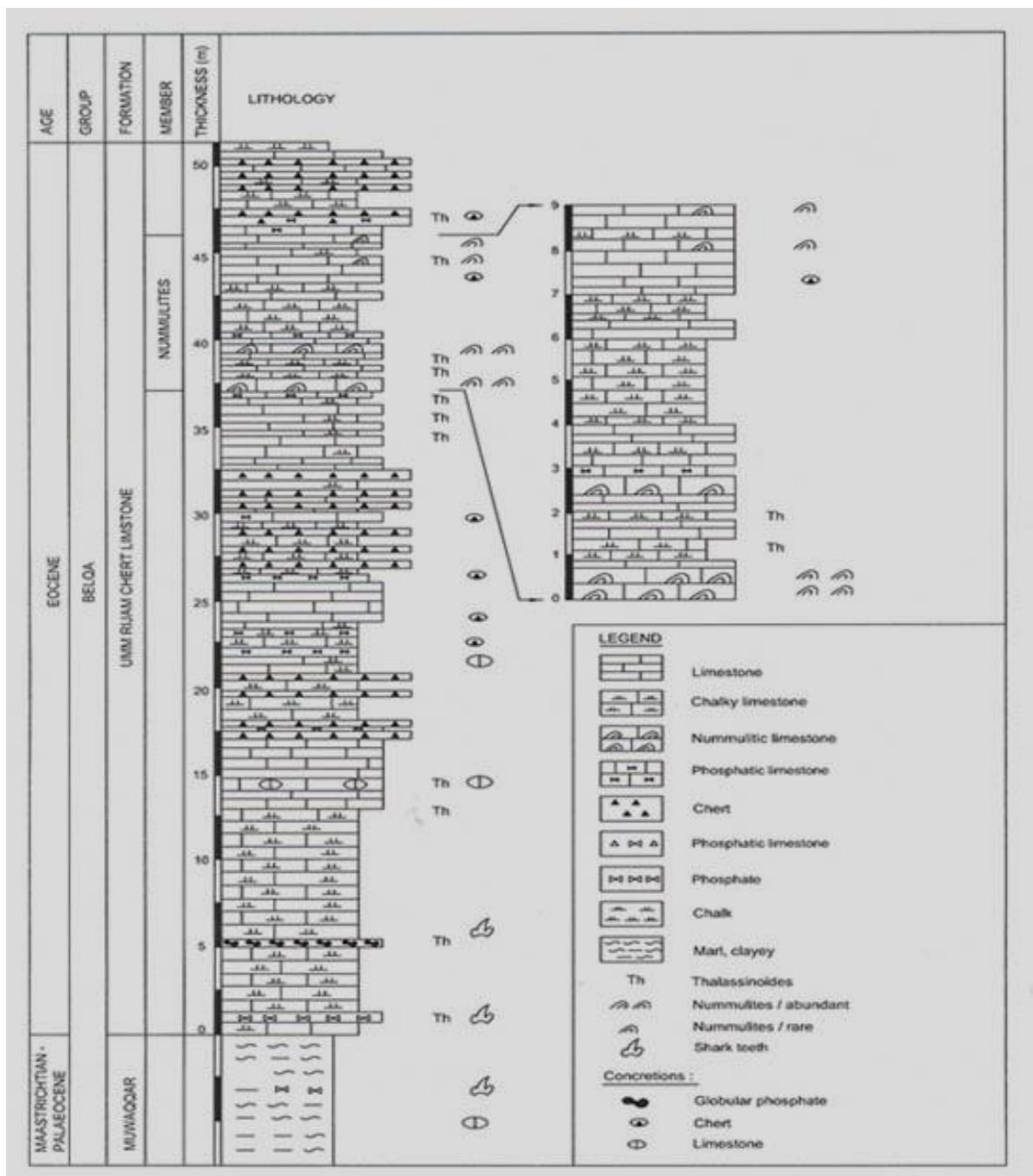


Fig. 2. Columnar lithological section of the Eocene rocks in the study area

Results and discussion

Mineralogical Study

Representative limestone samples were collected from four locations ;(Jurdaneh (JRD), Ma'anSateh (MaS), Jabal Al Juththa (JTH) and Al Jazeera (JZ) areas. The samples were studied by using polarizing microscope type Leitz Laborlux 12 pols.

Visual inspection of these samples shows that the nummulitic limestone is characterized by different degree of coloration. It is mostly white to grayish white in Jabal Al Juththa, reddish to reddish white in Ma'an Sateh, whereas in Al Jazeera area it is mostly white color. The limestone rocks are classified as

biosparite according to Folk (1959; 1962) and packstone to grainstone by Dunham (1962).

Generally, the limestone understudy is quite homogenous in its internal texture and structure. The results of petrographic studies indicate that fossils forms 50-80 % of the limestone. These Fossils include large foraminifera, mostly Nummulites with diameter up to 1 cm and show different chamber arrangements. Discocyclina occurs with fusiiform chambers arrangements and some specimens have maximum diameter that exceeds 2 mm. Planktonic foraminifera which represent 25-35% of the rock has a circular and ellipsoidal form with diameter of up to 0.5 mm.

Most of the foraminifera test walls are composed of calcite and show a variety of shapes and walls structures. The walls

are thick and have a radial fibrous structure, or pillars that characterize the large types of foraminifera. The matrix consists of micrite, sparite to microsparite with little blue-stained ferrous calcite cement. Most of the studied samples consist of unidentified fragmented bioclasts in a pink stained microsparitic calcite.

Physical and Mechanical Study

The representative samples were tested and used to investigate the physical and mechanical properties of the limestone according to the Jordanian standards laboratory tests. The results show that Ma'an limestone can be classified into different categories according to uniaxial unconfined compressive stress values (CS), water absorption percentage (WA), surface abrasion (SA), seismic velocity (SV) and specific gravity (SG) as shown in Table 1 (American Society for Testing and Materials, 1983).

Table 1
Results of the physico-mechanical properties of the studied samples

Sample No	CS (N/mm ²)	WA %	SV (m/s)	SA (mm)	SG
JTH1	58.74	2.46	5501.53	27.6	2.46
JTH2	54.79	2.78	5225.28	30.1	2.78
JTH3	49.54	2.64	5667.13	30.3	2.64
JTH4	44.08	2.59	4920.03	30.8	2.59
JZ1	50.67	2.66	5366.85	31.4	2.66
JZ2	79.41	2.66	5726.58	27.37	2.66
JZ3	62.32	2.61	5724.7	32.1	2.61
JRD1	49.99	2.54	4255.32	33.19	2.54
JRD2	60.91	2.57	4909.88	31.78	2.57
MaS1	27.64	2.52	5049.5	34.1	2.52
MaS2	63.15	2.64	5401.25	30.48	2.64
MaS3	59.96	2.62	5238.2	31.45	2.62

However, the studied limestone is classified locally as Juththa, Jazeera, Jardaneh and Ma'an Sateh building stones.

The results revealed that the controlling factor in the classification process is the uniaxial unconfined compressive stress test which is an expression of the ultimate compression stress that can be sustained by the given specimen before failure under unconfined condition. According to Ross and Butlin (1989) the test should be implemented on the specimen in a location perpendicular to the bedding plane. Fig. 3 shows the effect of uniaxial unconfined compressive stress on Ma'an limestone.

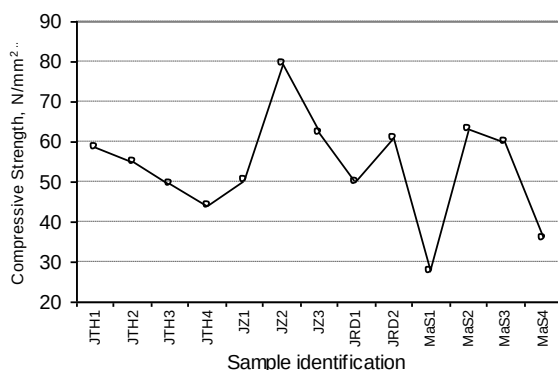


Fig. 3. The effect of uniaxial unconfined compressive stress

Different tests in this study indicate almost similar results for different limestone types except the uniaxial unconfined test distinguish between the studied limestone. So limestone in class A descended to the rank of class B and class C (Tables 1 and 2). The results also revealed that all types of Ma'an limestone have a very low water absorption less than 1.7%, which fulfill the Jordanian standards.

The building limestone in the studied area is generally within the category of class A as shown in Table 2. Generally, this indicates that the water absorption is not the effective factor in the classification of Ma'an limestone (Fig. 4). The results also shown that abrasion resistance of Ma'an limestone in different locations is not the effective factor implemented in the classification of Ma'an limestone into different categories. Abrasion resistance test can be used to determine the suitability of limestone for durability aspects. Generally, the more resistant to the metal disc abrasion is more durable against mechanical abrasion in nature (American Society for Testing and Materials, 1983, Brown, 1981, Malaga-Starzec, 2006).

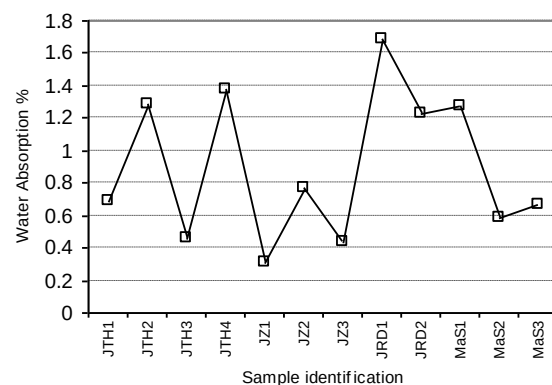


Fig. 4. Samples water absorption, %

Referring to the limits indicated in Table 2 and based on the factor D value (Richardson, 1991), the stone durability can be subdivided into five classes; a value less than 4 indicating the best durability class A, 4 to 5 class B, 5 to 7.5 class C, 7.5 to 12.5 class D, and over 12.5 the poorest class E. The results of this study show that almost all the tested samples are within the range of class A, whereas few of them match within class B and C. Accordind to the classification by durability factor Moh'd (2003) found that Ma'anSateh and Jazeera limestone in Ma'an area are of class A.

Table 2
Classification of different types of building limestone

	Class A	Class B	Class C
SA, mm	<33	33-37	37-44
CS, N/mm ²	>55	28-55	12-28
WA, %	<3	3-4.2	4.2-7.5
SV, m/s	2500-6000 for limestone rocks		

The grove length ranges between 27.37-34.1 mm (Table 1). Therefore, the compatibility of the results is given by the factor of water absorption percentage and the disc abrasion factor (Fig. 5). The test of seismic velocity was compared with the

specific gravity of Ma'an limestone and no odd results have been observed referring to the Jordanian standards. The results of the 2 tests fall between 4255-5726 m/s 2.46-2.78 as shown in Fig. 6 and 7.

Field evidences indicate that it is not difficult to recognize the lateral variation within the same mineable limestone bed in each quarry according to the Jordanian standard.

Traditionally, the customers and contractors working in the construction sector recognize the type of building limestone according to the production area (i.e. Jardaneh, Al Juththa, Jazeera and Ma'anSateh limestone). The customers proclaim for instance that Ma'anSateh limestone is of class A, whereas Jardaneh limestone is known to be of less rank.

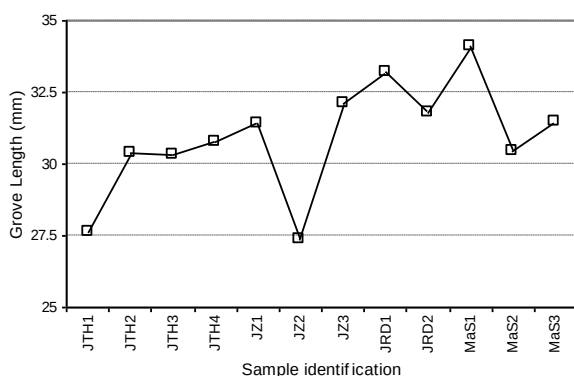


Fig. 5. Surface abrasion results

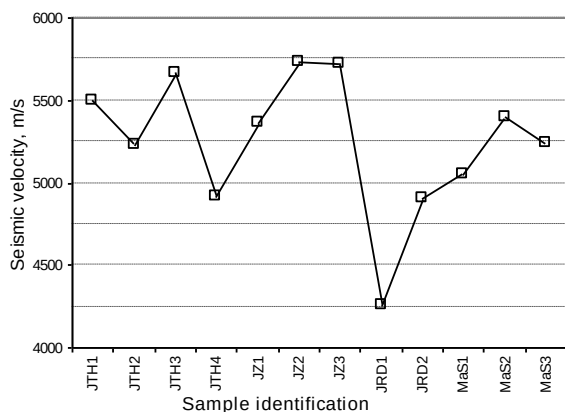


Fig. 6. Seismic velocity

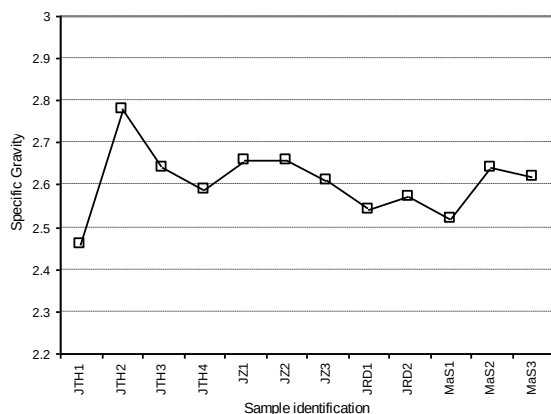


Fig. 7. Specific gravity

On the contrary, the previous results obtained indicated the presence of class A building limestone in many quarries of the study area. Consequently, class B limestone is present in the same manner. This means that, lateral and vertical changes in the physical and mechanical properties of the mineable limestone bed are present. Based on the results of this study, it is clear that the local name of Ma'an limestone used by the customers and contractors is not correct and not related to the scientific classification of building stones.

To overcome this problem, the producer and customers should refer to the scientific classification and engineering tests in each location. The local names of limestone currently used in Ma'an area should not be the only factor used to evaluate the price of the limestone produced from Ma'an area. The price of the limestone should be also reevaluated according to the physical and mechanical properties in each location in the area.

Conclusions

Based on the results obtained from the study, the following conclusion could be drawn:

The mineable nummulitic limestone bed has a broad distribution in the studied area and characterized by its purity and homogeneity, despite the variations in color.

The economic nummulitic limestone bed shows lateral changes in thickness (up to 0.8m).

The results of the petrographic studies indicate that the limestone consists mostly of fossils, which form up to 80% of the rock.

The controlling factor in the classification of limestone in Ma'an area is the uniaxial unconfined compressive test. The physical and mechanical properties of the limestone in the study area vary laterally and vertically.

The price of building stones produced from the study area should be comparable according to the Jordanian standard classification. It can be argued that the scientific classification of limestone with respect to the Jordanian standard is different from the conventional classification known for commercial purposes.

Acknowledgments. The authors would like to thank Natural Resources Authority/ Soil and Rock Mechanics Division for their help in analyzing the samples. Special thanks are due to Mr. Khaled Moumani for his personal help and fruitful discussion.

References

- Abrasion test using a metal disc.* 1973. Official French Standard, NF B 10-508.
- American Society for Testing and Materials.* 1983. Absorption and bulk specific gravity of natural building stone. ASTM Designation, C 97-83.
- Bender, F. 1974. *Geology of Jordan. Contribution on the Regional Geology of the World.* Gebrueder Borntraeger. Berlin, 196 p.
- Brown, E. T. 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring.* Pergamon, Oxford.
- Dunham, R. J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. – In: W. E. Ham, ed., *Classification of carbonate rocks, Mem. AAPG*, 108-21.

- Folk, R. L. 1959. Practical petrographic classification of limestone. – *AAPG, Bull.*, 43, 1-38.
- Folk, R. L. 1962. Spectral subdivision of limestone types. – (in W. E. Ham, ed.) *Classification of carbonate rocks: AAPG Memoir*, 1, 62-84.
- Moh'd, B. K. 1996. *Evaluation of some Jordanian limestone as building stone.*, Ph.D. thesis, University of London.
- Moh'd, B. K. 2003. The salt durability of some Jordanian limestone as a function of their petrophysical properties. *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 8, A.
- Powell, J. 1988. Stratigraphy and sedimentation of the phanerozoic rocks in central and south Jordan. – Jordan, part B, 1-72.
- Ross, K. D., Butlin, R. N. 1989. Durability tests for building stone. Building Research Establishment, Garston.
- Richardson, B. A. 1991. The durability of porous stone. – *Stone Industries*. 22-25.
- Tarawneh, K. 2004. The geology of Ma'an area Map Sheet, No. 3150-III, 1:50,000 National Mapping Project, Nat. Res. Auth., Geol. Dir., Geol. Map. Div., Bulletin 59, Amman.
- Wetzel, R., Morton, D. M. 1959. Contribution la geologie de la Trans-Jordanie. – *Notes et Memoirs sur le Moyen Orient*, 7, 95-191.
- Malaga-Starzec, K., Åkesson, U., Lindqvist, J. E., B. Schouenborg. 2006. Microscopic and macroscopic characterization of the porosity of marble as a function of temperature and impregnation. – *Construction and Building Materials*, 20, 10, 939-947.

Recommended for publication by the Department of Geology and
Prospecting of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Prospecting

MIDWAY-TYPE BENTHIC FORAMINIFERA FROM THE PALEOCENE OF THE COASTAL PART OF EAST STARA PLANINA (EASTERN BULGARIA). FAMILY TEXTULARIIDAE EHRENBURG, 1838 TO FAMILY STILOSTOMELLIDAE FINLAY, 1947

Boris Valchev

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

ABSTRACT. Taxonomical descriptions of 15 species Midway-type benthic foraminifera are introduced in the article. The species belong to 11 genera (*Textularia* – 2 species, *Dentalina* – 1 species, *Pyramidulina* – 1 species, *Bolivina* – 1 species, *Bulimina* – 2 species, *Globobulimina* – 1 species, *Praeglobobulimina* – 1 species, *Fursenkoina* – 1 species, *Nodogenerina* – 1 species, *Orthomorphina* – 1 species, *Siphonodosaria* – 3 species), 6 families, 6 superfamilies and 3 suborders. 13 species are first described in Bulgaria, 4 species are first found in Paleocene, and 1 species is first described from the Paleocene of Bulgaria.

The Loeblich & Tappan's (1988) classification is applied in the article.

Key words: taxonomy, "Midway-type" benthic foraminifera, Paleocene, East Stara Planina.

БЕНТОСНИ ФОРАМИНИФЕРИ ТИП "MIDWAY" ОТ ПАЛЕОЦЕНСКАТА СЕРИЯ В ПРИМОРСКАТА ЧАСТ НА ИЗТОЧНА СТАРА ПЛАНИНА (ИЗТОЧНА БЪЛГАРИЯ). СЕМЕЙСТВО TEXTULARIIDAE EHRENBURG, 1838 ДО СЕМЕЙСТВО STILOSTOMELLIDAE FINLAY, 1947

Борис Вълчев

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

РЕЗЮМЕ. Настоящата статия представя таксономични описания на 15 вида бентосни фораминифери тип "Midway". Те принадлежат на 11 рода (*Textularia* – 2 вида, *Dentalina* – 1 вид, *Pyramidulina* – 1 вид, *Bolivina* – 1 вид, *Bulimina* – 2 вида, *Globobulimina* – 1 вид, *Praeglobobulimina* – 1 вид, *Fursenkoina* – 1 вид, *Nodogenerina* – 1 вид, *Orthomorphina* – 1 вид, *Siphonodosaria* – 3 вида), 6 семейства, 6 надсемейства and 3 подразряда. 13 вида се описват за първи път в България, 4 са намерени за първи път в палеоценски седименти, а 1 е установен за първи път в скалите на Палеоценската серия в България.

Използвана е систематиката на Loeblich & Tappan (1988).

Ключови думи: таксономия, бентосни фораминифери тип "Midway", Палеоценска серия, Източна Стара планина.

Introduction

The Paleocene of the Coastal part of East Stara Planina (East Bulgaria) contains characteristic elements of three types of benthic foraminiferal assemblages – flysh-type or A-type, Midway-type and Velasco-type (Valchev, 2004a). The present article is the first one from a series of three parts concerning the taxonomy of the Midway-type assemblages from this part of the country.

A sketch with the location of the studied sections and outcrops was published by Valchev (2003). The biostratigraphical framework of the Paleocene in the coastal part of East Stara Planina was discussed in the same article. The microphotographs were made in the Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography of the Bulgarian Academy of Sciences by scanning electron microscope "Philips SEM-515" ($U_{op} = 25$ kV).

General remarks

"Midway-type" faunal assemblages (MF) are a middle to outer shelf assemblages (50-200 m water depth) developed in a shale-marl environment and characterized by various representatives of the families Textulariidae, Nodosariidae,

Vaginulinidae, Polymorphinidae, Alabaminidae, Heterolepidae. The assemblages were named the "Midway-type" because they have been described and illustrated repeatedly in the rocks of the Midway Group (Gulf Coastal Plain) and equivalent rocks in the Atlantic Coastal Plain of the USA and circum-Caribbean and Antillean region (Cushman, 1951; Olson, 1960; Berggren, 1972, 1974). They have been established in some other localities of the Tethyan region (e. g. Ukraine – Vassilenko, 1950; Kaptarenko-Chernousova et al., 1963; Krayeva, Zernetskij, 1969; Poland – Pozaryska, 1965; Pozaryska, Szczuchura, 1968; Caucasus – Subbotina, 1947, 1950; Sweden – Brotzen, 1948; the Netherlands – ten Dam, 1944; Australia – McGowran, 1965).

Taxonomical descriptions

The present article aims to introduce taxonomical descriptions of 15 species small benthic foraminifera from the Paleocene of the Coastal Part of East Stara Planina, East Bulgaria. The species belong to 11 genera, 6 families, 6 superfamilies and 3 suborders. 13 species are first described in Bulgaria, 4 species are first found in the Paleocene, and 1 species is first described from the Paleocene of Bulgaria.

Several taxonomical descriptions (See Appendix) of Midway-type benthics were given in previous Valchev's publications (Valchev, 2000, 2001, 2002, 2004b, c, 2005a, b).

The Loeblich & Tappan's (1988) classification is applied in the article.

Suborder TEXTULARIINA Delage and Herouard, 1896
Superfamily TEXTULARIACEA Ehrenberg, 1838
Family TEXTULARIIDAE Ehrenberg, 1838
Subfamily TEXTULARIINAE Ehrenberg, 1838
Genus *Textularia* DeFrance, 1824

Type species. *Textularia saggitula* DeFrance, in de Blainville, 1824 (original designation by monotypy).

Distribution. Paleocene - Holocene; cosmopolitan.

? *Textularia plummerae* Lalicker, 1935
Plate I, Figures 1, 2

1937. *Textularia plummerae* Lalicker; Glaessner, S. 364.

1951. *Textularia plummerae* Lalicker; Cushman, p. 4, pl. 2, figs. 2, 3.

1960. *Textularia* cf. *plummerae* Lalicker; Geroch, p. 56, Tabl. 6, fig. 6.

1975. *Textularia plummerae* Lalicker; Braga et al., p. 91, T. 1, fig. 6.

Nomenclature. I have no data about the holotype.

Material. Byala Formation (199 specimens), Emine Formation (25 specimens).

Description. Test is elongated, coarsely agglutinated, biserial, with tapered initial part; gradually broadening towards the apertural end. Chambers are distinct, slightly inflated. Sutures are depressed, slightly curved backwards. Periphery is rounded. Aperture is basal.

Remarks. The species is morphologically similar to *S. navaroana* Cushman, but differs from it by the lack of spiral initial portion. When the initial part is broken both species are indistinct.

Distribution. The species is known from the Paleocene of Arkansas, Texas, Caucasus, the Alps, the Upper Paleocene of France, the Eocene of Caucasus and the Alps. It was found in the deep sea holes in the Labrador (Paleocene) and North Sea (Lower Eocene).

Occurrence. Byala Formation: C-11 (247.50 m – P1c Zone), C-12 (219.20 m – P1b Zone, 264.50 m – Lower Paleocene, 268.50-289.20 m – P1c Zone, 303.40 m – P1b Zone), C-21 (22.00-38.50 m – P1b Zone), C-23 (271.20 m – P1b Zone), C-24 (40.00 m – P2 Zone, 74.25 m – P1b Zone), C-25 (22.50-40.40 m – P1b Zone), C-28 (513.00 m – P3 Zone), C-29 (364.40-365.90 m – P3 Zone, 383.20-420.60 m – P4 Zone, 440.30-476.30 m – P5 Zone), C-30 (83.90-86.30 m – P4 Zone, 99.50 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP3-5 Zone), Byala 2b (NP1-3 Zone), Byala 2c (NP1-2 Zone), Byala River and Koundilaki Cheshme valleys (Paleocene); Emine Formation: sections Emona (NP1 Zone) and Banya-Southwest (Paleocene).

Textularia sp.
Plate I, Figure 3

Material. Byala Formation (1 specimen).

Description. Test is coarsely agglutinated, biserial, laterally flattened, sharply broadening towards the apertural end. It is composed of 4 couples of chambers, as the chambers from the last one are strongly inflated.

Occurrence. C-25 (40.40 m – P1b Zone).

Suborder LAGENINA Delage and Herouard, 1896
Superfamily NODOSARIACEA Ehreberg, 1838
Family NODOSARIIDAE Ehreberg, 1838
Subfamily NODOSARIINAE Ehreberg, 1838
Genus *Dentalina* Riso, 1826

Type species. *Nodosaria* (les Dentalines) *cuvieri* d'Orbigny, 1826 (original designation by monotypy).

Distribution. Late Cretaceous - Holocene; cosmopolitan.

Dentalina longicostata (Cushman and Jarvis, 1934)
Plate I, Figure 8

1934. *Chrysalogonium longicostatum* Cushman and Jarvis, n. sp.; Cushman, Jarvis, p. 74, pl. 10, fig. 12.

1949. *Chrysalogonium longicostatum* Cushman and Jarvis; Bermudez, p. 151, pl. 10, fig. 3.

1957. *Chrysalogonium longicostatum* Cushman and Jarvis; Agyp, pl. 14, fig. 8.

Nomenclature. The holotype (Cushman Coll. No. 21 441) is from the Lower Miocene of Trinidad (Cipero section).

Material. Byala Formation (21 specimens).

Description. Test is uniserial, elongated, slightly curved, and tapered at both ends, with parallel sides. Chambers are distinct, gradually increasing in size. Sutures are straight depressed, horizontal. Surface is covered by fine longitudinal ribs. Aperture is terminal, compound.

Remarks. The representatives of this species have been usually referred to genus *Chrysalogonium*. According to Loeblich, Tappan's (1988) classification it is characterized by straight, elongated and smooth test, while the specimens described and figured in the micropaleontological literature are with slightly curved test covered by fine longitudinal ribs – characteristic features of genus *Dentalina*. That is why in the present article these specimens are referred to it.

Distribution. The species is known from the Oligocene of Italy, Cuba, Trinidad, the Miocene of Italy, and Trinidad. It has been also established in the deep sea holes in the Northwest Atlantic (Eocene – Lower Miocene).

Occurrence. C-11 (191.60 m – P1c Zone), C-25 (40.40 m – P1b Zone), C-29 (440.30 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP3 Zone), Byala 2b (NP3 Zone), Byala River Valley (Paleocene).

Genus *Pyramidulina* Fornasini, 1894

Type species. *Pyramidulina eptagona* Fornasini, 1894 = *Nautilus raphanus* Linne, 1758 (original designation by monotypy).

Distribution. Cretaceous - Holocene; cosmopolitan.

Pyramidulina tenuicostata (Cushman & Bermudez, 1936)
Plate I, Figure 4

1936. *Chrysalogonium tenuicostatum* Cushman & Bermudez, n. sp.; Cushman, Bermudez, p. 27, pl. 5, figs. 3-5.

1949. *Chrysalogonium tenuicostatum* Cushman & Bermudez; Bermudez, p. 151, pl. 10, fig. 2.

1957. *Chrysalogonium tenuicostatum* Cushman & Bermudez; Agyp, pl. 14, fig. 10.

Nomenclature. The holotype (Cushman Coll. No. 23 094) is from the Middle Eocene of Cuba.

Material. Byala Formation (33 specimens).

Description. Test is elongated, straight, tapered in the initial part. Sides are parallel. Chambers gradually increasing in size. Sutures are straight, horizontal, slightly depressed. Surface is covered by coarse longitudinal ribs. Aperture is terminal, compound.

Remarks. The representatives of this species have been usually referred to genus *Chrysalogonium*, but the presence of coarse longitudinal ribs made me refer them to genus *Pyramidulina*. The species differs from *D. longicostata* (Cushman and Jarvis) by its straight test and coarsely ornamented surface.

Distribution. It is known from the Eocene of Alabama, Cuba, the Upper Eocene, Oligocene and Miocene of Italy, the Oligocene of Cuba, and Trinidad. It was also established in the deep sea holes in the Atlantic (Lower – Middle Eocene), Bay of Biscay (Upper Eocene – Lower Oligocene).

Occurrence. C-23 (271.20 m – P1b Zone), C-24 (56.90 m – P1c Zone), C-25 (P1b Zone), C-30 (107.90 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP3-5 Zone), Byala 2c (NP1-2 Zone), Byala River and Koundilaki Cheshme Valleys (Paleocene).

Suborder ROTALIINA Delage and Herouard, 1896

Superfamily BOLIVINACEA Glaessner, 1937

Family BOLIVINIDAE Glaessner, 1937

Genus *Bolivina* d'Orbigny, 1839

Type species. *Bolivina plicata* d'Orbigny, 1839 (subsequent designation by Cushman, 1911);

Distribution. Late Cretaceous – Holocene; cosmopolitan.

***Bolivina midwayensis* Cushman, 1936**

Plate I, Figure 5

1937. *Bolivina midwayensis* Cushman; Cushman, p. 45, pl. 6, figs. 11–13.

1962. *Loxostomum midwayensis* (Cushman); Hillebrandt, S. 88, Taf. 6, Fig. 18, 19.

1976. *Bolivina midwayensis* Cushman; Aubert, Berggren, p. 420, pl. 4, fig. 10.

1983. *Coriphostoma* cf. *midwayensis* (Cushman); Tjalsma, Lohman, p. 12, pl. 2, figs. 7, 8.

Nomenclature. I have no data about the holotype. The species was first described from the Paleocene of Texas.

Material. Byala Formation (47 specimens).

Description. Test is elongated, slightly tapered in the apertural end, biserial. Chambers are low, broad. Sutures are oblique, slightly depressed. Periphery is narrowly rounded. Surface is smooth. Aperture is low, loop-shaped, basal.

Distribution. The species is known from the Paleocene of the Tethys region. It was also established during the deep sea drilling in the Atlantic (Paleocene).

Occurrence. Sections Byala 2b (NP3 Zone), Byala 2c (NP1 Zone).

Superfamily BULIMINACEA Jones, 1875

Family BULIMINIDAE Jones, 1875

Genus *Bulimina* d'Orbigny, 1826

Type species. *Bulimina marginata* d'Orbigny, 1826 (subsequent designation by Cushman, 1911);

Distribution. Paleocene – Holocene; cosmopolitan.

***Bulimina midwayensis* Cushman and Parker, 1936**

Plate I, Figure 9

1936. *Bulimina arkadelphia* Cushman and Parker var. *midwayensis* Cushman and Parker, n. var.; Cushman and Parker, p. 42, pl. 7, figs. 9, 10.

1962. *Bulimina midwayensis* Cushman and Parker; Hillebrandt, S. 76, Taf. 5, Fig. 19.

1976. *Bulimina midwayensis* Cushman and Parker; Aubert, Berggren, p. 422, pl. 5, fig. 7.

1983. *Bulimina midwayensis* Cushman and Parker; Tjalsma, Lohman, p. 6, pl. 3, fig. 1.

Nomenclature. The holotype (Cushman Coll. No. 23136) is from the Eocene of Texas. (Midway Formation).

Material. Byala Formation (28 specimens).

Description. Test is triserial, tapered at the initial part, bearing a basal spine. The last 3 chambers are inflated, smooth, comprising 1/3 to 1/2 of test length. The previous ones are covered by fine ribs. Sutures are depressed, curved. Aperture is loop-shaped, with lip.

Distribution. The species is known from the Paleocene of North America, Sweden, Denmark, Austria, Slovakia, Egypt, Tunisia, and the Eocene of Texas. It was also established during the deep-sea drilling in the Atlantic (Paleocene).

Occurrence. C-24 (40.00 m – P2 Zone), C-28 (16.00 m – P2 Zone), C-29 (399.00–420.60 m – P4 Zone), C-30 (86.30 m – P4 Zone, 99.50 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP4 Zone), Byala 2b (NP3 Zone), Byala 2c (NP2 Zone), Byala River Valley (Paleocene).

***Bulimina paleocenica* Brotzen, 1948**

Plate I, Figure 10

1948. *Bulimina* (*Reussella*) *paleocenica* n. sp.; Brotzen, p. 60, pl. 6, figs. 5, 6.

1958. *Bulimina paleocenica* Brotzen; Haynes, p. 74, pl. 16, fig. 17.

1965. *Bulimina paleocenica* Brotzen; Pozaryska, p. 98, pl. 15, fig. 4.

1969. *Reussella paleocenica* (Brotzen); Krayeva, Zemetetskij, p. 149, pl. 71, fig. 2.

1976. *Bulimina paleocenica* Brotzen; Aubert, Berggren, p. 422, pl. 5, fig. 8.

Nomenclature. The holotype (S. G. U. No. 138) is from the Paleocene of Sweden. It was figured by Brotzen (1948, pl. 6, fig. 6).

Material. Byala Formation (27 specimens).

Description. Test is elongated, tapered at the initial portion, triangular in cross section, triserial. Edges are rounded, sides are slightly depressed. Sutures are oblique, slightly depressed. Aperture is basal, loop-shaped.

Distribution. The species is known from the Paleocene of Sweden, Denmark, Poland, the Netherlands, Tunisia, Ukraine, Georgia, Russian Plate, the Upper Paleocene of England.

Occurrence. C-21 (29.50–37.00 m – P1b Zone), C-23 (271.20 m – P1b Zone), C-24 (40.00 m – P2 Zone), C-28 (15.00 m – P2 Zone), C-30 (83.90–86.30 m – P4 Zone, 99.50 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP4 Zone), Byala 2b (NP2 Zone), Byala River Valley (Paleocene).

Genus *Globobulimina* Cushman, 1927

Type species. *Globobulimina pacifica* Cushman, 1927 (original designation).

Distribution. Paleocene – Holocene; cosmopolitan.

Globobulimina suteri (Cushman and Renz, 1946)
Plate I, Figure 11

1947. *Bulimina* (*Desinobulimina*) *suteri* Cushman and Renz; Cushman, p. 14, pl. 4, fig. 16.

1962. *Bulimina* (*Desinobulimina*) *suteri* Cushman and Renz; Hillebrandt, S. 81, Taf. 5, Fig. 32-34.

Nomenclature. I have no data about the holotype.

Material. Byala Formation (42 specimens), Emine Formation (1 specimen).

Description. Test is oval in outline and round in cross section, triserial. Chambers are inflated, sharply increasing in size. The last row comprises up to 2/3 of the test length. Sutures are indistinctive in the initial part, later they become slightly depressed, curved. Surface is smooth. Aperture is low loop-shaped.

Distribution. The species is known from the Maastrichtian, of Trinidad, the Paleocene of Austria, Trinidad, Venezuela, the Eocene of Trinidad.

Occurrence. Byala Formation: C-12 (169.70 m – Lower Paleocene, 264.50 m – Lower Paleocene), C-24 (40.00 m – P2 Zone), C-25 (22.50-40.40 m – P1b Zone, 454.60 m – P2 Zone), C-29 (361.10 m – P3 Zone, 433.50-464.70 m – P5 Zone), C-30 (83.90 m – P4 Zone), sections Byala 1 (NP3-4 Zone), Byala 2b (NP3 Zone), Byala 2c (NP2 Zone), Byala River and Koundilaki Cheshme Valleys (Paleocene); Emine Formation: a sample from the geological mapping (Lower Paleocene).

Genus ***Praeglobobulimina*** Hofker, 1951

Type species. *Bulimina pyrula* d'Orbigny var. *spinescens* Brady, 1884 (original designation);

Distribution. Late Paleocene - Holocene; cosmopolitan.

Remarks. The numerous finds of *P. pyrula* (d'Orbigny) in Senonian and Lower Paleocene emend the genus' range as given by Loeblich, Tappan (1988).

Praeglobobulimina pyrula (d'Orbigny, 1846)
Plate I, Figure 6

1846. *Bulimina pyrula* d'Orbigny; d'Orbigny, p. 184, tab. 11, fig. 9, 10.

1846. *Bulimina ovata* d'Orbigny; d'Orbigny, p. 185, tab. 11, fig. 13, 14.

1846. *Bulimina pupoides* d'Orbigny; d'Orbigny, p. 185, tab. 11, fig. 11, 12.

1948. *Bulimina* aff. *ovata* d'Orbigny; Brotzen, p. 59, pl. 10, figs. 9, 10.

1957. *Bulimina ovata* d'Orbigny; Tzaneva, p. 14, pl. 2, fig. 2.

1959. *Bulimina ovata* d'Orbigny; Stancheva, p. 259, pl. 7, fig. 8.

1985. *Bulimina pyrula* d'Orbigny; Papp, Schmidt, p. 69, pl. 62, figs. 2-10.

1992. *Bulimina pyrula* d'Orbigny; Darakchieva, Juranov, p. 24, pl. 4, fig. 8.

1999. *Praeglobobulimina pyrula* (d'Orbigny); Darakchieva, p. 59.

Nomenclature. The lectotype (GBA Coll. No. 1981/03/314) was pointed out by Papp, Schmidt (1985, pl. 62, fig. 9). The species was first described from the Miocene of the Vienna Basin.

Material. Byala Formation (24 specimens).

Remarks. The species was described as *B. ovata* d'Orbigny (Tzaneva, 1957) from the Eocene in NE Bulgaria and the Miocene of NW Bulgaria (Stancheva, 1959). It was also established in the Eocene of Bourgas District (Darakchieva, Juranov, 1992). I accept the Papp, Schmidt's (1985) revision

according to which *B. ovata* d'Orbigny and *B. pupoides* d'Orbigny are synonyms of *B. pyrula* d'Orbigny.

Distribution. The species is known from the Senonian of Caucasus, the Paleocene of Sweden, Poland, the Netherlands, Turkmenia, the Eocene of Hungary, France, the USA, Belgium, Ukraine, Caucasus, Byelorussia, the Netherlands, the Oligocene of Mexico, the Netherlands, Hungary, the Upper Oligocene and Miocene of Dominican Republic, the Miocene of the Vienna Basin, Hungary, Germany, Florida, the Pliocene of Italy, recent sea sediments in Italy and Philippines.

Occurrence. C-11 (191.60 m – P1c Zone), C-21 (7.50 m – P1c Zone), C-23 (271.20 m – P1b Zone), C-29 (395.20–399.20 m – P4 Zone, 440.30-475.30 m – P5 Zone), C-30 (83.90-86.30 m – P4 Zone, 99.50-107.90 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP4 Zone), Byala 2b (NP1-3 Zone).

Superfamily FURSENKOINACEA Loeblich and Tappan, 1961
Семейство FURSENKOINIDAE Loeblich and Tappan, 1961
Род ***Fursenkoina*** Loeblich and Tappan, 1961

Type species. *Virgulina squamuosa* d'Orbigny, 1826 (original designation).

Distribution. Late Cretaceous – Holocene; cosmopolitan.

Fursenkoina sp.
Plate I, Figure 7

Material. Byala Formation (8 specimens).

Description. Test is narrow, elongated, laterally flattened, biserial. Initial portion is twisted, with indistinctive sutures. Sutures in the late portion are slightly depressed, oblique. Surface is smooth. Aperture is low, elongated, slit-like.

Occurrence. C-30 (107.90 m – P5 Zone), section Byala 1 (NP5 Zone), Byala 2b (NP1-3 Zone).

Superfamily STILOSTOMELLACEA Finlay, 1947
Family STILOSTOMELLIDAE Finlay, 1947
Genus ***Nodogenerina*** Cushman, 1927

Type species. *Nodogenerina bradyi* Cushman, 1927 (original designation).

Distribution. Campanian – Holocene; cosmopolitan.

Nodogenerina emaciata (Reuss, 1851)
Plate I, Figure 12

1851. *D. (Dentalina) emaciata* m.; Reuss, S. 63, Taf. 3, Fig. 9.

1956. *Dentalina emaciata* Reuss; Hagn, S. 136, Taf. 12, Fig. 5.

1979. *Stilostomella emaciata* (Reuss); Sztrakos, pl. 19, fig. 14.

Nomenclature. Holotype is the specimen figured by Reuss (1851, Taf. 3, Fig. 9). The species was first described from the Oligocene of Germany.

Material. Byala Formation (7 specimens).

Description. Test is slim, elongated, uniserial, curved. Chambers are elongated, gradually increasing in size. Initial chamber bears a basal spine. Sutures are straight, horizontal, flush in the initial portion, slightly depressed in the late one. Surface is smooth. All available specimens are with broken aperture.

Distribution. The species is known from the Paleogene of Germany, the Oligocene of Hungary.

Occurrence. C-24 (74.25 m – P1b Zone), sections Byala 2b (NP3-5 Zone), Byala 2c (NP1-2 Zone).

Genus **Orthomorphina** Stainforth, 1952

Type species. *Nodogenerina havanensis* Cushman and Bermudez, 1937 (original designation).

Distribution. Eocene – Holocene; cosmopolitan.

Remarks. The present find of representatives of the genus in the Paleocene emend the stratigraphical range given by Loeblich, Tappan (1988).

Orthomorphina rohri (Cushman and Stralnforth, 1945)

Plate I, Figure 13

1945. *Nodogenerina rohri* Cushman and Stralnforth, n. sp.; Cushman and Stralnforth, p. 39, pl. 5, fig. 26;

1956. *Orthomorphina rohri* (Cushman and Stralnforth); Hagn, S. 144, Taf. 13, Fig. 20;

1979. *Orthomorphina rohri* (Cushman and Stralnforth); Sztrakos, pl. 14, fig. 9;

1983. *Orthomorphina rohri* (Cushman and Stralnforth); Basov, Krashennikov, p. 762, pl. 12, fig. 5.

Nomenclature. The holotype (Cushman Coll. No. 43618) is from the Oligocene of Trinidad (Cipero formation, zone III, sample Rz. 425).

Material. Byala Formation (2 specimens).

Description. Test is straight, uniserial, composed of subspherical chambers with gradually increasing sizes. Sutures are straight, horizontal, depressed. Surface is smooth. Aperture is broken.

Distribution. The species is known from the Eocene of Trinidad, North Alps, the Upper Eocene of Barbados, the Lower Oligocene of Barbados, the Oligocene of Trinidad. It was also found during the deep sea drilling in the Southeast Atlantic (Middle Eocene – Oligocene) and Norwegian Sea (Lower Eocene).

Occurrence. C-12 (303.40 m – P1b Zone), section Byala 2b (NP3 Zone).

Genus **Siphonodosaria** A. Silvestri, 1924

Type species. *Nodosaria abyssorum* Brady, 1881 (subsequent designation by monotypy - Cushman, 1927);

Distribution. Eocene - Holocene; cosmopolitan.

Remarks. The numerous finds of representatives of the genus in the Senonian and Paleocene emends the stratigraphical range given by (Loeblich, Tappan, 1988).

Siphonodosaria adolphina (d'Orbigny, 1846)

Plate I, Figure 14

1846. *Dentalina adolphina* d'Orbigny; d'Orbigny, p. 51, tab. 2, fig. 18-20;

1951. *Dentalina adolphina* d'Orbigny; Spasov, p. 100, pl. 1, fig. 11;

1926. *Nodosaria* cf. *adolphina* (d'Orbigny); Cushman, p. 597, pl. 18, fig. 2;

1969. *Nodosaria adolphina* (d'Orbigny); Krayeva, Zernetskij, p. 41, pl. 14, fig. 6;

1985. *Stilostomella adolphina* (d'Orbigny); Papp, Schmidt, p. 31, pl. 14, figs. 8-11;

1992. *Siphonodosaria adolphina* (d'Orbigny); Darakchieva, Juranov, p. 30, pl. 5, fig. 4.

Nomenclature. The lectotype (GBA Coll. No. 1981/03/58) was pointed out by Papp, Schmidt (1985, pl. 14, fig. 9). The

species was first described from the Badenian of the Vienna Basin.

Material. Byala Formation (1 specimen).

Remarks. In Bulgaria the species was described from the Miocene of Kula District (Spasov, 1951). It was also established in the Eocene of Bourgas District (Darakchieva, Juranov, 1992).

Distribution. It is known from the Upper Senonian of Germany, the Paleocene of Texas (Midway Formation), Mexico, Poland, the Eocene of Ukraine, Caucasus, Crimea, Turkmenia, California, Venezuela, the Middle Eocene of Dalmatian, the Oligocene of the Netherlands, Hungary, the Miocene of the Vienna Basin, Bavaria.

Occurrence. C-30 (83.90 m – P4 Zone).

Siphonodosaria paleocenica (Cushman and Todd, 1946)

Plate I, Figure 15

1946. *Ellipsonodosaria paleocenica* Cushman and Todd, n. sp.; Cushman and Todd, p. 61, pl. 10, fig. 26;

1951. *Ellipsonodosaria paleocenica* (Cushman and Todd); Cushman, p. 46, pl. 13, figs. 3-5.

Nomenclature. The holotype (Cushman Coll. No. 46415) is from the Paleocene of Little Rock (Arkansas, USA).

Material. Byala Formation (6 specimens).

Description. Test is slim, elongated, straight, uniserial, slightly tapered in the initial portion, than slightly broadening. It is composed of 11-14 spherical chambers with gradually increasing sizes. Sutures are straight, horizontal, deep. Surface is smooth. Aperture is terminal, round, located on a short neck with lip.

Distribution. The species is known from the Paleocene of Arkansas, Alabama, Texas, Mississippi, and Tennessee.

Occurrence. Section Byala 2b (NP3 Zone), Byala River Valley (Paleocene).

Siphonodosaria sp.

Plate I, Figure 16

Material. Byala Formation (49 fragments).

Description. The investigated fragments are composed of 4-6 spherical equidimensional chambers separated by deep sutures. In the last 2-3 chambers they turn into short necks. Surface is smooth. Aperture is terminal, round, on a short neck.

Occurrence. C-12 (194.10 m – P1c Zone), C-21 (22.00 m – P1b Zone), C-23 (215.00 m – Lower Paleocene), C-24 (40.00 m - P2 Zone, 107.70 m – P1c Zone), C-29 (440.30 m – P5 Zone), C-30 (86.30 m – P4 Zone, 107.90 m – P5 Zone), sections Byala 1 (NP5 Zone), Byala 2b (NP3 Zone), Byala River Valley (Paleocene).

References

- Agip. 1957. Foraminiferi Padani. Atlante iconografico e distribuzione stratigrafica. Milano: *Agip Minararia*. Tav. 1-52.
- Aubert, J., W. A. Berggren. 1976. Paleocene benthic foraminiferal biostratigraphy and paleoecology of Tunisia. – *Bull. Centre Res. Pau - SNPA*, 10, 2, 379-469.

- Basov, I. A., V. A. Krashennnikov. 1983. Benthic foraminifers in Mesozoic and Cenozoic sediments of the Southeastern Atlantic as an indicator of paleoenvironment, Deep Sea Drilling Project Leg 71. – *Init. Repts. DSDP*, 71, 739-783.
- Berggren, W. A. 1972. Cenozoic biostratigraphy and paleobiogeography of the North Atlantic. – In: *Init. Repts. DSDP*, 12, 965-1001.
- Berggren, W. A. 1974. Late Paleocene-Early Eocene benthonic foraminiferal biostratigraphy and paleoecology of Rockall Bank. – *Micropaleont.*, 20, 4, 426-448.
- Bermudez, P. J. 1949. Tertiary Smaller Foraminifera of the Dominican Republic. – *Cush. Lab. For. Res., Spec. Publ.*, 25, 322 p.
- Braga, G., R. de Biase, A. Grunig, F. Proto Decima. 1975. Foraminiferi bentonici del Paleocene ed Eocene della sezione di Possagno. – *Schweiz. Palaeont. Abh.*, 97, 85-199.
- Brotzen, F. 1948. The Swedish Paleocene and its Foraminiferal Fauna. – *Sverig. Geol. Unders., Ser. C* 493, 4, 2, 3-140.
- Cushman, J. A. 1926. The Foraminifera of the Velasco Shale of the Tampico Embayment. – *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, 10, 581-612.
- Cushman, J. A. 1937. A Monograph of the Subfamily Virgulininae of the Foraminiferal Family Buliminidae. – *Cush. Lab. For. Res., Sp. Publ.*, 9, 228 p.
- Cushman, J. A. 1947. A Foraminiferal Fauna from the Santa Anita Formation of Venezuela. – *Contrib. Cush. Lab. For. Res.*, 23, 1, 1-18.
- Cushman, J. A. 1951. Paleocene Foraminifera of the Gulf Coastal Region of the United States and Adjacent Areas. – *Geol. Survey Prof. Paper*, 232, 1-75.
- Cushman, J. A., P. J. Bermudez. 1936. Additional New Species of Foraminifera and a New Genus from the Eocene of Cuba. – *Contr. Cush. Lab. For. Res.*, 12, 3, 55-63.
- Cushman, J. A., F. Parker. 1936. Some American Eocene Buliminids. – *Contrib. Cush. Lab. For. Res.*, 12, 2, 39-44.
- Cushman, J. A., R. M. Stainforth. 1945. Foraminifera of the Cipero Marl Formation of Trinidad, British West Indies. – *Cushman Lab. For. Res., Sp. Publ.*, 14, 75p.
- Cushman, J. A., M. R. Todd. 1946. A foraminiferal Fauna from the Paleocene of Arkansas. – *Contrib. Cush. Lab. For. Res.*, 22, 2, 45-65.
- Dam, A., ten. 1944. Die stratigraphische Gliederung des Niederländischen Paläocäns und Eozäns nach Foraminiferen (mit Ausnahme von Sud-Limburg). – *Meded. Geol. Sticht., Ser. C-V*, 3, 5-142.
- Darakchieva, S. 1999. *Small Tertiary Foraminifers from Bulgaria. Atlas*. Sofia, 92 p.
- Darakchieva, S., S. Juranov. 1992. Small Foraminifers from the Middle and Upper Eocene in the Burgas District. Calcareous benthic foraminifers - Part I. – *Geologica Balc.*, 22, 4, 3-42.
- Geroch, S. 1960. Zespoły mikrofauny z kriedy i paleogenu serii slasiej w Bescidzie Slaskim. – *Inst. Geol. Biul.*, 153, 5, 1-138.
- Glaessner, M. 1937. Studien über Foraminiferen aus der Kreide und dem Tertiär des Kaukasus. 1. Die Foraminiferen der Ältesten Tertiärschichten des Northwest Kaukasus. – *Проблемы палеонтологии*, 2-3, 349-410.
- Hagn, H. 1956. Geologische und paläontologische Untersuchungen im Tertiär des Monte Brione und seiner Umgebung (Gardasee, Oberitalien). – *Palaeontographica*, 107, A, 67-210.
- Haynes, J. 1958. Certain Smaller British Paleocene Foraminifera. Part IV. Arenacea, Lagenidea, Buliminidea and Chilostomellidae. – *Contrib. Cush. Found. For. Res.*, 9, 3, 58-77.
- Hillebrandt, A. von. 1962. Das Paleozän und seine Foraminiferenfauna im Becken von Reichenhall und Salzburg. – *Bayer. Acad. Wiss., math-natw. Cl., Abh.*, (N. F.), 108, 1-192.
- Kaptarenko-Chemousova, O. K., P. M. Golyak, B. F. Zernetskij, E. Y. Krayeva, E. S. Lipnik. 1963. Atlas of characteristic Jurassic, Cretaceous and Paleogene foraminifers from the plate part of Ukraine. – *Geol. Inst. Acad. Sci of Ukraine, ser. Stratigr. and paleontol.*, 45, Kijv, 200 p.
- Krayeva, E. Y., B. F. Zernetskij. 1969. Paleogene Foraminifers from Ukraine. – *Paleont. Misc.*, 3, 197 p. (In Russian)
- Loeblich, A. Jr., H. Tappan. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. New York, Van Nostrand Reinhold, 970 p.
- McGowran, B. 1965. Two Paleocene Foraminiferal Faunas from the Wangarrup Group, Pebble Point Coastal Section, Western Victoria. – *Proc. Royal Soc. Victoria*, 79, 1, 9-74.
- Olson, R. K. 1960. Foraminifera of the Latest Cretaceous and Earliest Tertiary Age in the New Jersey Coastal Plain. – *J. Paleontol.*, 34, 1, 1-58.
- Orbigny, A. 1846. *Foraminifères fossiles du bassin Tertiaire de Vienne*. Paris, Gide et Comp., 312.
- Papp, A., A. E. Schmidt. 1985. Die fossilen Foraminiferen des Tertiären Becken von Wien. Revision der Monographie von Alcide d'Orbigny (1846). – *Abh. Geol. Bundesanstalt*, 37, 310 p.
- Pozaryska, K. 1965. Foraminifera and Biostratigraphy of the Danian and Montian in Poland. – *Paleont. Polonica*, 14, 156 p.
- Pozaryska, K., J. Szczechura. 1968. Foraminifera from the Paleocene of Poland, their ecological and biostratigraphical meaning. – *Paleont. Polonica*, 20, 107 p.
- Reuss, A. E. 1851. Über die fossilen Foraminiferen und Entomostraceen der Septarienthone der Umgegend von Berlin. – *Zeitschr. Deutsch. Geol. Gess.*, 3, 49-92.
- Spasov, H. 1951. Tortonian foraminifers from Staropatitsa Area, Kula District. – *Proc. Geol. Inst.*, 1, 103-124 (in Bulgarian).
- Stancheva, M. 1959. Microfaunal characteristics of the Tortonian from the Northwest Bulgaria. – *Treat. Geol. Bulg., Ser. paleont.*, 1, 229-320 (In Bulgarian).
- Sztrakos, K. 1979. La stratigraphie, paléocologie, paléogéographie et les foraminifères de l'Oligocène du Nord-est de la Hongrie. – *Cahiers Micropaleont.*, 3, 1-95.
- Subbotina, N. N. 1947. Danian and Paleogene foraminifers from North Caucasus. – In: *Microfauna from the oil deposits of Caucasus, Emba and Middle Asia*, VNIGRI, 39-160 (in Russian).

- Subbotina, N. N. 1950. Microfauna and stratigraphy of the Elburgan and Goryachij Klyuch Horizon.- In: *Microfauna USSR*, Treat. VNIGRI, 4, 5-112. (In Russian)
- Tjalsma, R. C., G. P. Lohman. 1983. Paleocene-Eocene bathyal and abyssal benthic foraminifera from the Atlantic Ocean.- *Micropaleont., Spec. Publ.*, 4, 90 p.
- Tzaneva, P. 1957. A contribution to the knowledge of Family Biliminidae from the Cretaceous and Tertiary of Northeast Bulgaria. – *Ann. Manag. Geol. Min. Res.*, A, 7, 12-32. (In Bulgarian)
- Valchev, B. 2000. Some Representatives of Family Nodosariidae Ehrenberg, 1838 from the Paleocene Part of Bjala Formation (East Balkan Mountains). – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 61, 1-3, 87-94.
- Valchev, B. 2001. Genus *Nodosaria* Lamarck, 1812 from the Paleocene Part of Bjala Formation (East Balkan Mountains). – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 62, 1-3, 111-115.
- Valchev, B. 2002. Unilocular foraminifers from the Paleocene of the Coastal Part of East Stara Planina. – *Ann. de l'Univ. de Sofia, Fac. de Geol. et Geogr.*, 95, liv. 1 – Geol., 17-30 (in Bulgarian with abstract in English).
- Valchev, B. 2003. Biostratigraphy of the Paleocene of the Coastal Part of East Stara Planina based on Small Benthic Foraminifera. – *Geologica Balc.*, 33, 1-2, 47-59.
- Valchev, B. 2004a. Paleocene Benthic Foraminiferal Assemblages from the Coastal Part of East Stara Planina. – *Ann. de l'Univ. de Sofia, Fac. de Geol. et Geogr.*, 96, liv. 1 – Geol., 5-19.
- Valchev, B. 2004b. Genus *Lenticulina* Lamarck, 1804 from the Paleocene of the Coastal Part of East Stara Planina. – *Ann. UMG*, 47, Part I – Geol. and Geophys., 51-56.
- Valchev, B. 2004c. Paleocene Vaginulinids (Foraminiferida) from the coastal part of East Stara Planina. – *Ann. de l'Univ. de Sofia, Fac. de Geol. et Geogr.*, 97, liv. 1 – Geol., 161-176.
- Valchev, B. 2005a. Paleocene Pleurostomellids (Foraminiferida) from the Coastal Part of East Stara Planina (East Bulgaria). – *Ann. de l'Univ. de Sofia, Fac. de Geol. et Geogr.*, 98, liv. 1 – Geol., 19-28.
- Valchev, B. 2005b. Paleocene Polymorphinids and Glandulinids (Order *Foraminiferida*) from the Coastal Part of East Stara Planina (East Bulgaria). – *Ann. UMG*, 48, Part I – Geol. and Geophys., 161-165.
- Vassilenko, V. P. 1950. Paleocene foraminifers from the Central part of Dnepr-Donetsk lowering. – In: *Microfauna USSR*, 4, 177-224 (in Russian).

Appendix

List of the Midway-type taxa from the Paleocene of the Coastal Part of East Stara Planina published in previous articles

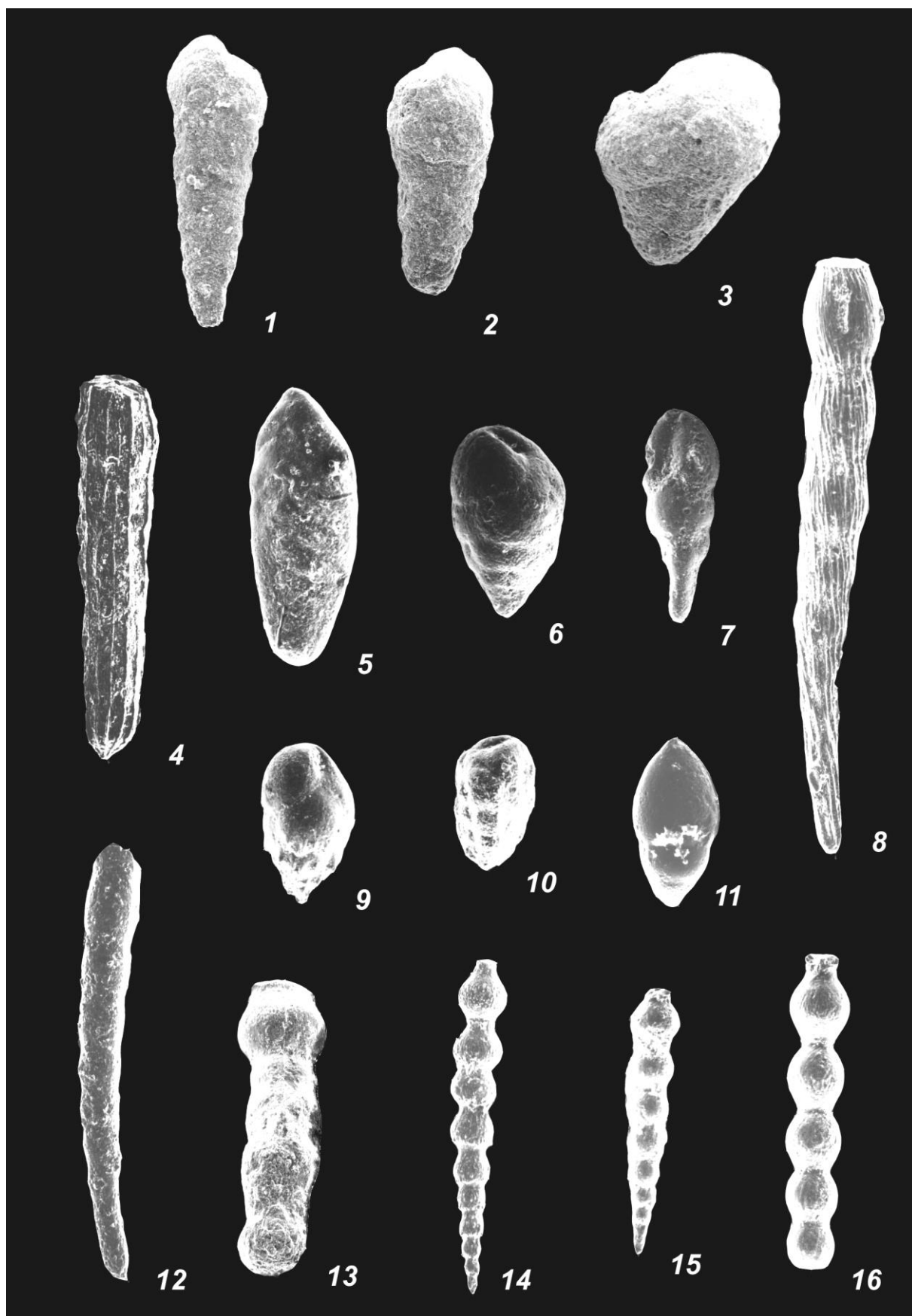
<i>Dentalina acuta</i> d'Orbigny	<i>Lenticulina clypeiformis</i> (d'Orbigny)	<i>Pygmaeoseistrum hispidum</i> (Reuss)
<i>D. alternata</i> (Jones)	<i>L. degolyeri</i> (Plummer)	<i>P. laevis</i> (Montagu)
<i>Dentalinoides approximata</i> (Reuss)	<i>L. disca</i> (Brotzen)	<i>P. oxystomum</i> Reuss
<i>D. colei</i> (Cushman&Dusenbery)	<i>L. inornata</i> (d'Orbigny)	<i>Reussolina apiculata</i> (Reuss)
<i>D. fallax</i> (Franke)	<i>L. macrodisca</i> (Reuss)	<i>R. emaciata</i> (Reuss)
<i>Grigelis pyrula longicostata</i> Cushman	<i>L. ovalis</i> (Reuss)	<i>R. globosa</i> (Montagu)
<i>Laevidentalina communis</i> (d'Orbigny)	<i>L. pseudomamilligera</i> (Plummer)	<i>Favulina hexagona</i> (Williamson)
<i>L. eocenica</i> (Cushman)	<i>L. turbinata</i> (Plummer)	<i>Palliolatella crebra</i> (Mathes)
<i>L. glaessneri</i> (ten Dam)	<i>L. vortex</i> (Fichtel&Moll)	<i>P. orbignyana</i> Seguenza
<i>L. laticolis</i> (Grzybowski)	<i>L. wilcoxensis</i> (Cushman&Ponton)	<i>Globulina gibba</i> d'Orbigny
<i>L. megalopolitana</i> (Reuss)	<i>Marginulinopsis jacksonensis</i>	<i>Guttulina communis</i> d'Orbigny
<i>L. mucronata</i> Neugeboren	(Cushman&Applin)	<i>G. ipatovcevi</i> Vassilenko
<i>Nodosaria aspera</i> Reuss	<i>Saracenaria arcuata</i> (d'Orbigny)	<i>G. irregularis</i> (d'Orbigny)
<i>N. concinna</i> Reuss	<i>S. hantkeni</i> Cushman	<i>G. lidiae</i> Vassilenko
<i>N. ewaldi</i> Reuss	<i>Neofilabellina rugosa</i> (d'Orbigny)	<i>Pyrulinoides cylindroides</i> (Roemer)
<i>N. guttifera</i> (d'Orbigny)	<i>Astaculus cymboides</i> (d'Orbigny)	<i>Ramulina globulifera</i> Brady
<i>N. (?) hispida</i> (Soldani)	<i>A. gibbus</i> (d'Orbigny)	<i>Glandulina laevigata</i> d'Orbigny
<i>N. longiscata</i> d'Orbigny	<i>A. gladius</i> (Philippi)	<i>Ellipsoglandulina chilostoma</i> (Rzehak)
<i>N. praegnans</i> (Reuss)	<i>Hemirobulina pediformis</i> (Bornemann)	<i>E. manifesta</i> Franke
<i>N. radricula</i> (Linne)	<i>Marginulina apiculata</i> Reuss	<i>Ellipsoidina ellipsoides ellipsoides</i>
<i>N. soluta</i> Reuss	<i>M. hamulus</i> Chapman	Seguenza
<i>Pseudonodosaria caudigera</i> (Schwager)	<i>M. hirsuta</i> d'Orbigny	<i>E. ellipsoides oblonga</i> Seguenza
<i>P. cylindracea</i> (Reuss)	<i>M. obliqua</i> (d'Orbigny)	<i>Ellipsopolymorphina velascoensis</i>
<i>P. manifesta</i> (Reuss)	<i>M. oblonga</i> Kaptarenko	(Cushman)
<i>P. parallela</i> (Marson)	<i>M. similis</i> d'Orbigny	<i>Nodosarella hedbergi</i> Cushman and Renz
<i>Pyramidulina latejugata</i> (Guembel)	<i>Marginulina</i> sp.	<i>N.cf. paleocenica</i> Cushman and Todd
<i>P. raphanistrum</i> (Linne)	<i>Vaginulinopsis earlandi</i> (Plummer)	<i>N. tuberosa</i> (Gümbel)
<i>P. raphanus</i> (Linne)	<i>V. longiformis</i> (Plummer)	<i>Nodosarella</i> sp.
<i>P. tutkowskii</i> (Kaptarenko)	<i>V. midwayana</i> (Fox&Ross)	<i>Pleurostomella eocaena</i> Gümbel
<i>Fronicularia jarvisi</i> Cushman	<i>V. pedum</i> (d'Orbigny)	<i>P. kugleri</i> Cushman and Renz
<i>Fronicularia</i> sp. 1	<i>Hyalinonettrion clavatum</i> (d'Orbigny)	<i>P. paleocenica</i> Cushman
<i>Fronicularia</i> sp. 2	<i>Lagena costata</i> (Williamson)	<i>P. subnodosa</i> (Guppy)
	<i>L. sulcata</i> (Walker&Jakob)	
	<i>L. sulcata apiculata</i> Cushman	

Plate I

- 1, 2. ? *Textularia plummerae* Lalicker, 1935. Byala Formation, Section Byala 2c, Lower Paleocene, NP2 Zone, Sample 52c-8; SEMx42.6
3. *Textularia* sp. Byala Formation, C-25, Lower Paleocene, 40.40 m, P1b Zone, Sample C-25-6; SEMx37.4
4. *Pyramidulina tenuicostata* (Cushman & Bermudez, 1936). Byala Formation, Koundilaki Cheshme Valley, Paleocene, Sample K4-1; SEMx65.5
5. *Bolivina midwayensis* Cushman, 1936. Byala Formation, Section Byala 2b, Lower Paleocene, NP1 Zone, Sample 52b-7; SEMx50.5
6. *Präeglobulimina pyrula* (d'Orbigny, 1846). Byala Formation, C-29, Upper Paleocene, 440.30 m, P5 Zone, Sample C-29-11; SEMx63
7. *Fursenkoina* sp. Byala Formation, Section Byala 2b, Lower Paleocene, NP3 Zone, Sample 52b-14; SEMx75
8. *Dentalina longicostata* (Cushman & Jarvis, 1934). Byala Formation, Byala River Valley, Paleocene, Sample 5P-6; SEMx48=6
9. *Bulimina midwayensis* Cushman & Parker, 1936. Byala Formation, C-29, Upper Paleocene, 399.20 m, P4 Zone, Sample C-29-8; SEMx63
10. *Bulimina paleocenica* Brotzen, 1948. Byala Formation, Section Byala 1, Lower Paleocene, NP3 Zone, Sample 51-12; SEMx71.5
11. *Globobulimina suteri* (Cushman & Renz, 1946). Byala Formation, Section Byala 2b, Lower Paleocene, Sample 52b-17; SEMx60
12. *Nodogenerina emaciata* (Reuss, 1851). Byala Formation, Section Byala 2b, Lower Paleocene, NP1 Zone, Sample 52b-8; SEMx48.6
13. *Orthomorphina rohri* (Cushman & Stainforth, 1945). Byala Formation, Section Byala 2b, Lower Paleocene, NP2 Zone, Sample 52b-13; SEMx81.5
14. *Siphonodosaria adolphina* (d'Orbigny, 1846). Byala Formation, C-30, Upper Paleocene, 83.90 m, P4 Zone, Sample C-30-6; SEMx48.6
15. *Siphonodosaria paleocenica* (Cushman & Todd, 1946). Byala Formation, Section Byala 2b, Lower Paleocene, NP3 Zone, Sample 52b-17; SEMx63
16. *Siphonodosaria* sp. Byala Formation, Byala River Valley, Paleocene, Sample 5P-7; SEMx63

Recommended for publication by the Department of
Geology and Paleontology, Faculty of Geology and Prospecting

PLATE I



СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ ОТРАЖАТЕЛНИТЕ СПЕКТРИ НА ГРАНИТИ ПОЛУЧЕНИ С РАЗЛИЧНА СПЕКТРОМЕТРИЧНА АПАРАТУРА

Деница Борисова

ЦЛСЗВ- БАН, София 1113; dborisova@stil.bas.bg

РЕЗЮМЕ. Дистанционните изследвания на скали и минерали намират все по-широко приложение във връзка с актуалните разработки на ESA (Европейска космическа агенция), NASA (Национална космическа агенция на САЩ) и ИКИ-РАН (Институт за космически изследвания – Руска академия на науките), за изучаване на минералния и химичен състав на повърхността на Марс и спътника му Фобос. За целта на настоящата работа са проведени лабораторни спектрометрични измервания на гранити от територията на България във видимата и близката инфрачервена области от електромагнитния спектър като са използвани следните спектрометрични системи: SRM, 0.4-0.82 микрометра; SPS-1, 0.55-1.1 микрометра. Избрани са две дължини на вълната с цел сравнение на данните, получени с помощта на различните апаратури. Също така е установена зависимостта между количественото съдържание на скалообразуващите минерали на гранитите и стойността на спектралния коефициент на отражение при подбрани дължини на вълната. Получените резултати показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България.

CORRELATION BETWEEN GRANITE REFLECTANCE SPECTRA OBTAINED BY DIFFERENT SOURCES

DENITSA BORISOVA

STIL-BAS, Sofia 1113; dborisova@stil.bas.bg

ABSTRACT. Remote sensing methods for studying of rocks and minerals are closely related to current EAS, NASA and SRI-RAS programs for mineral and chemical composition research of Mars and Phobos surface. For the purpose of present paper ex-situ spectroscopy measurements of the granites from the territory of Bulgaria in visible and near infrared (VNIR) range of the electromagnetic spectrum were performed using follows spectrometric systems: SRM, 0.4-0.82 micrometers; SPS-1, 0.55-1.1 micrometers. Two wavelengths were selected and were applied for the proper comparison between the data obtained by different sources. Dependence between reflectance values at chosen wavelengths and the quantitative content of the rock-forming minerals was established. The achieved results proved that this methodology could be extended for other rock types presented in the territory of Bulgaria.

Въведение

Дистанционните изследвания на скали и минерали са актуални в настоящия момент във връзка с редица международни програми за изучаване на състава на повърхността на Марс и спътника му Фобос. За целта на настоящата работа са проведени спектрометрични измервания на гранити от територията на България във видимата и близката инфрачервена области от електромагнитния спектър (ЕМС) като са използвани спектрометрични системи SRM, 0.4-0.82 μm и SPS-1, 0.55-1.1 μm . Апаратурите са разработени в ЦЛСЗВ-БАН и са използвани при изучаването на растителна и почвена покривка. За сравнение на данните, получени с помощта на различните апаратури, са избрани две дължини на вълната. За подбрани дължини на вълната е установена зависимостта между количественото съдържание на скалообразуващите минерали на гранитите и стойността на спектралния коефициент на отражение. Получените резултати показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България.

Материали и методи

Обекти на проведените експериментални изследвания са общо 10 скални образеца от групата на гранита и риолита. Групата се счита като главна, защото гранитите са най-разпространените скали между интрузивните магмени скали. Тук се включват кисели и ултракисели скали и по-малко със среден химичен състав. Повечето от скалните видове са светли (левкократни) и съдържат средно около 10% цветни минерали (Маринов, 1989). Също така обект на изследване са отделните основни скалообразуващи минерали, които формират гранитите. Те са измерени като единични масивни образци от калиев фелдшпат, ортоклаз, кварц и мусковит, чиито размери са съобразени и съвместими с полезрението на използваната система SRM. Липсата на единични природни минерали от плагиоклаз, биотит и амфибол с нужните за полезрението на спектрометъра размери наложи използването на многоканална спектрометрична апаратура SPS-1. С помощта на тази апаратура бяха измерени спектралните отражателни характеристики на всички представени минерали като включения в изследваните скални образци, както и всеки образец.

В Таблица 1 е представено процентното съдържание на основните минерали, които формират съответния вид гранити, като сред изследваните скални образци преобладават обикновените гранити.

Таблица 1

Процентно съдържание на основните минерали в изследваните гранити

наимено- вание	място на вземане	KFsp	плагио- клази	кварц	био- тит	муско- вит	амфи- бол
Гранит	Родопи		50	35	15		
Порфи- роиден гранит	с.Момина баня Хисар	10	30	40	10		10
Порфи- роиден гранит	с.Кънчево Казан- лъшко	15	35	25	5		20
Двуслю- ден гранит	Панагю- рище		45	45	5	5	
Порфирои- ден грано- диорит	с.Оман Елхово	10	50	10	5		25
Гранит	Пирин	20	25	45	10		
Гранит	Пирин		40	40	20		
Гранит	Казан- лъшко	45		45	5		5
Гранит	Пирин	30	20	40	10		
Гранит	Пирин -		45	45	5		5

Визуално описание на измерваните образци

1. Минерали (фиг. 1-4).



Фиг. 1. Калиев фелдшпат



Фиг. 2. Кварц



Фиг. 3. Мусковит



Фиг. 4. Микроклин

Ортоклаз (калиев фелдшпат). Правоъгълен образец с естествено леко грапава матова повърхност. Цветът е "пепел от рози" с блед оттенък оранжево.

Кварц. Многоъгълен образец с естествено грапава леко запрашена повърхност без блясък. Наблюдават се леки проблясъци от миналамелки кварц. Цветът е млечнобяло-бежово-сив.

Мусковит. Многоъгълен образец с естествена почти гладка повърхност с огледален (под определен ъгъл) блясък. Цветът е възкафяв с малки ръждиви петънца.

Микроклин. Многоъгълен образец с грапава повърхност с матов блясък. Образецът е с преобладаващ бледорезедав цвят.

2. Скални образци (фиг. 5-14).

Образец N1. Среднозърнест гранит от Родопите. Повърхността е естествено грапава. Цветът на скалообразуващите минерали е както следва: плагиоклази – бели до светлорозово-бели; кварц – прозрачен тъмносиво-розов; биотит – черен блестящ.

Образец N2. Среднозърнест порфириоден гранит от Хисар. Порфирите са от калиев фелдшпат. Повърхността е естествено грапава. Цветът на скалообразуващите минерали е както следва: калиев фелдшпат - светлосиво-розов, плагиоклази - бели, кварц - прозрачен светлосив, биотит - черен блестящ, амфибол - чернозелен.



Фиг. 5. Гранит



Фиг. 6. Порфириоден гранит

Образец N3. Среднозърнест порфириоден гранит от Казанлъшко. Порфирите са от плагиоклази. Повърхността е естествено грапава. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледо светлорозов, плагиоклази - бели до зеленикавобели, кварц – прозрачен много светлосив, биотит – черен, амфибол – черен.

Образец N4. Среднозърнест двуслюден гранит от Панагюрище. Стандартен петрографски образец с естествено грапава повърхност. Цветът на минералите е както следва: плагиоклази – бели до светлосиви, кварц – прозрачен сиворозов, биотит – черен блестящ, мусковит – безцветен блестящ.



Фиг. 7. Порфириоден гранит



Фиг. 8. Двуслюден гранит

Образец N5. Дребнозърнест порфириоден гранодиорит от Елховско. Повърхността е естествено грапава с порфири от калиев фелдшпат. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледо жълторозов, плагиоклази – бели, кварц – светлосив, биотит – черен блестящ, амфибол – черен.

Образец N6. Среднозърнест гранит от Пирин. Повърхността е наполовина вдлъбната с омазняване в единия край. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледо светлорозов, плагиоклази - бели, кварц – сив прозрачен, биотит – черен блестящ.



Фиг. 9. Порфироиден гранит



Фиг. 10. Гранит

Образец N7. Дребно- до среднозърнест гранит от Пирин. Повърхността е леко грапава, почти гладка. Цветът на минералите е както следва: плагиоклази – бели до светлосиви, кварц – прозрачен тъмносиворозов, биотит - черен блестящ.

Образец N8. Дребно- до среднозърнест гранит от Казанлъшко. Повърхността е леко грапава, почти гладка. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – светлорозов, кварц – светло- до тъмносив, биотит – черен блестящ, амфибол – сивочерен.



Фиг. 11. Гранит



Фиг. 12. Гранит

Образец N9. Дребно- до среднозърнест гранит от кариера Гранитово. Естествено грапава повърхност. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледооранжеворозов, плагиоклази – бели до светлосиви, кварц – прозрачен сив, биотит – черен блестящ.

Образец N10. Дребно- до среднозърнест гранит от Гранитово. Повърхността е естествено грапава. Цветът на минералите е както следва: плагиоклази – бели, кварц – сив до тъмносив, биотит – черен блестящ, амфибол – черен.



Фиг. 13. Гранит



Фиг. 14. Гранит

Апаратурен комплекс

За измерване на отражателните спектри на скалните образци гранити като смесен клас от основните скалообразуващи ги минерали, както и на основните и второстепенните минерали са използван следните апаратурни системи, разработени в ЦЛСЗВ-БАН:

Система SRM за измерване на спектралните коефициенти на отражение в наземни условия, описана в Кънчева, 1999: 1 – монохроматор Joben-Yvon, модел H-10; 2 – цифров радиометър Tektronix, модел J-16.

Системата притежава следните основни технически характеристики: спектрален обхват на монохроматора - 300-820 nm; работен спектрален диапазон - 400-820nm; брой измервателни канали - 43; ширина на спектралните канали 8 nm; фокусирана дифракционна решетка с 1800 линии/mm; спектрален обхват на радиометъра 374-1100 nm; индикация – цифрова.

Спектрометрична система за дистанционни изследвания SPS-1 (Илиев, 2000а,б), в чийто състав влизат:

- оптичен възел;
- блок на фотопреобразувателя с възел за неговото управление;
- блок за цифрово преобразуване и визуализация на спектралните данни;
- специализиран компютър.

По-важни параметри на системата са: 1 – монохроматор SPM-1 Uarl-Zeiss; 2 – фотопреобразувател RL512S - Reticon; 3 – архив на спектралната информация 5.25" Mini-Disk; 4 – интерфейс RS-323.

Системата притежава следните основни технически характеристики:

- работен спектрален диапазон - 360-1100 nm;
- спектрална разделителна способност - 0.24 nm, 0.384 nm, 5.4 nm;
- динамичен обхват на фотопреобразувателя > 104;
- време за сканиране на един спектър 50 ms;
- динамична памет 44 kB.

Еталонна отразяваща повърхност (екран) със следните характеристики:

- покритие - бариев сулфат;
- коефициент на отражение – 98-99%;
- неравномерност на спектралната отражателна характеристика в работния диапазон – 1%;
- индикатриса на отражение – ортотропна.

Изкуствен светлинен източник – халогенна лампа с мощност 2000 W, създаваща равномерна осветеност в работното поле на спектрометриране и осигуряваща необходимата светлинна енергия в спектралния диапазон на измерване.

Подвижен оптичен визьор за контролиране на разположението на изследвания обект в ползрението на спектрометъра.

Механична конструкция, включваща тринога и механична глава за установяване и регулиране на спектрометъра в работно положение.

Измерванията на спектралните отражателни характеристики на всички изследвани обекти са проведени в лабораторни условия със системите SRM (Mishev et al., 1993) и SPS-1 (Илиев, 2000), установени в надир спрямо повърхността на изследвания обект. Осветяването на изследвания обект е осъществено с изкуствен светлинен източник – халогенна лампа като са съблюдавани постоянни условия на осветеност.

Обработка на получените данни

Ефективното използване на данните от дистанционните изследвания се съобразява със индивидуалните изисквания на потребителя към съдържанието и качеството на получаваната информация. Обработката и интерпретацията на спектралните данни са от особено значение за ефективността. Важни са следните моменти:

- вид на анализирания спектрални данни - свързано с предварителната обработка и методите за анализ;
- количество на спектралните и съпътстващи данни - представителност и оптимален обем;
- предварителна обработка на данните;
- използвани математически методи за анализ;
- оценка на точността на получените резултати.

Предварителна обработка на получените данни

Предварителната обработка на получените данни включва най-общо следните операции:

- ✓ корекция на апаратурните шумове;
- ✓ радиометрична калибровка спрямо еталонен обект;
- ✓ пространствена привръзка;
- ✓ радиационна корекция (отчитане на атмосферните шумове);
- ✓ преобразуване на данните в нужния вид;
- ✓ въвеждане на допълнителни данни от наземните наблюдения и точкови измервания.

При извършените в настоящия труд лабораторни спектрометрични измервания не са необходими радиационната корекция и пространствената привръзка на данните. Корекцията на апаратурните шумове и радиометричната калибровка спрямо еталонния екран се извършват по време на провежданите експериментални измервания.

Получените масиви от данни се преобразуват до стойност на спектралния коефициент на отражение в проценти или като част от единицата като се прилагат необходимите за целта формули (1).

Спектралният коефициент на отражение $r(\lambda_i, z_0, \phi, \theta)$ е функция, която характеризира структурата на отразената от повърхността на природния обект радиация по дължина на вълната (λ_i) и в зависимост от условията на осветяване (ϕ) и измерване (θ).

Измервания при малки изменения на z_0 осигуряват слаба зависимост на спектрометричните данни от зенитния ъгъл на Слънцето (Henderson et al., 1984) и тогава, при визиране в надир, коефициентът на отражение (като безразмерна величина или в проценти) се определя от:

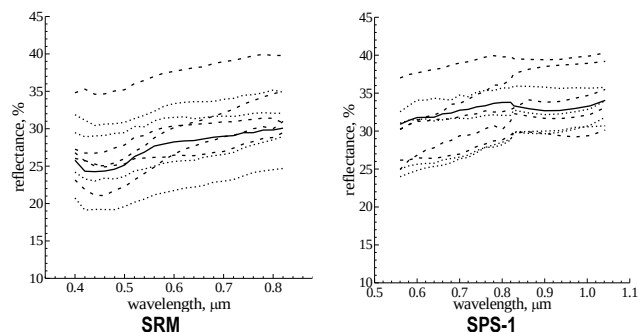
$$r(\lambda_i) = \frac{L(\lambda_i)}{L_0(\lambda_i)} \quad (1)$$

където $L(\lambda_i)$ и $L_0(\lambda_i)$ са яркостите съответно на изследваната хоризонтална ($\phi = 0$) и еталонна повърхност.

Допълнителната информация представлява в конкретния случай наблюдение и описание на изследваните скални образци, което включва процентно съдържание на скалообразуващите минерали и визуално описание на минералите и гранитите.

Резултати и дискусия

На фиг. 15 са представени спектралните отражателни характеристики на изследваните гранити с двете използвани апаратури, съответно SRM и SPS-1. Според структурата на петрографския образец отражателните спектри са с различен растер: едрозърнестите гранити са отбелязани на фигурата с плътна линия, среднозърнестите са показани с пунктир и дребнозърнестите са маркирани с точки.

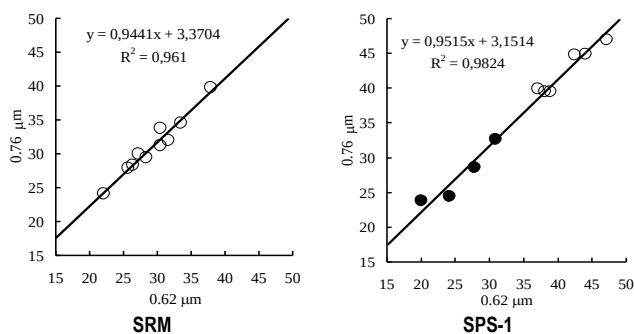


Фиг. 15. Отражателни спектри на гранити с различна структура

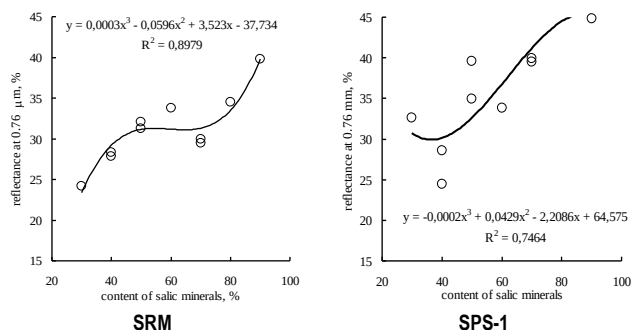
За по-ясно разграничаване на тъмно- и светлооцветените образци се подбират две дължини на вълните, където се наблюдава най-значима разлика в стойностите. След направен анализ на получените спектри (фиг. 16) са подбрани червената (R) и инфрачервената (NIR) област от спектъра като $R = 0.62 \mu\text{m}$ и $NIR = 0.76 \mu\text{m}$. На фиг. 17 в спектралната координатна система от две дължини на вълните R-NIR са представени резултатите от проведените измервания с двете използвани апаратури. Наблюдава се различие в резултатите при използването на двете апаратури, което е повлияно основно от разстоянието между измервателния уред и изследвания образец, различно за двата случая. За SPS-1 се оформят две групи (клъстъра) според съдържанието на минерали ($\bullet$ – > 50% тъмни, $\circ$ – > 50% светли). Тази по-голяма чувствителност се дължи на по-високото спектрално разрешение на апаратурата. В двумерната координатна система R-NIR стойностите на коефициента на отражение

на образците от гранити попадат на добре оформена линия, наречена базова скална линия. Аналогично на (Elvidge, 1985; Borisova and Kancheva, 2003; Borisova, 2004; Borisova and Kancheva, 2006), базовата линия е установена чрез линейна регресия от вида $y = ax + b$:

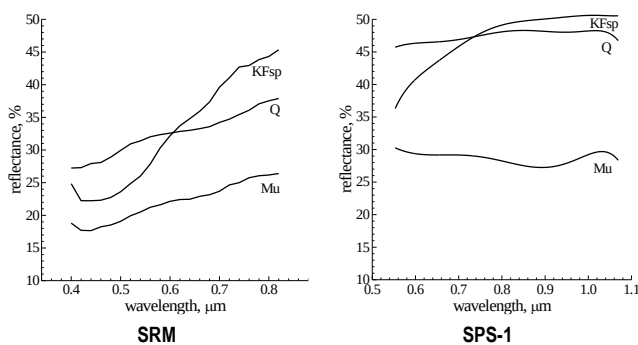
$$NIR = aR + b \quad (2)$$



Фиг. 17. Гранити в спектралната координатна система от две дължини на вълните $R=0.62 \mu m$ и $NIR=0.76 \mu m$



Фиг. 18. Зависимост на отражението при $0.76 \mu m$ от съдържанието на светли минерали



Фиг. 19. Отражателни спектри на изследваните скалообразуващи минерали, характерни за гранитите – калиев фелдшпат (KFsp), кварц (Q), мусковит (Mu)

На фиг. 18 са показани зависимостите на стойността на спектралния коефициент на отражение при дължина на вълната $0.76 \mu m$ от съдържанието на светлоцветени скалообразуващи минерали в гранитите съответно за SRM и SPS-1. Зависимостта се апроксимира с полином от трета степен. Наблюдава се нарастване на стойността на спектралния коефициент на отражение с увеличаване на съдържанието на светлоцветени скалообразуващи минерали в гранитните образци. На фиг. 19 са показани отражателните спектри на скалообразуващите минерали на гранитите във вид на мономинерални образци,

измерени с двете използвани апаратури SRM и SPS-1. Освен това с SPS-1 са проведени измервания на минералите, изграждащи изучаваните скални образци.

Заклучение

Проведените лабораторни спектрометрични измервания на гранити, техните основни и второстепенни скалообразуващи минерали имат за цел да служат като подпомагач и потвърждаващ материал при анализиране и дешифриране на цифрови изображения, получени при аеро- и космически заснемания и преобразуването на пикселите от изображението в литоложки единици въз основа на техните спектрални характеристики. Получените резултати показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България, което е предвидено да се направи в предстоящи работи.

Благодарности. Авторът изказва благодарност на гл. ас. д-р Бануш Банушев и доц. дгн Маргарита Токмачиева за предоставените скални и минерални образци, както и за оказаното съдействие при направените последващи минерални и химични анализи. Настоящата работа е подпомогната финансово от НЧНИ-МОН по договори ИНИ-12/05, НЗ-1410/04 и МУНЗ-1502/05.

Литература

- Илиев, И. 2000. Многоканални спектрометрични дистанционни изследвания на Слънцето и земната атмосфера. – *Дисертация за получаване на научната и образователна степен "Доктор"*, 150 с.
- Илиев, И. 2000. Спектрометрична система за слънчеви и атмосферни изследвания. – *E+E*, 3-4, 43-47.
- Маринов, Т. 1989. *Петрография*. С., Техника, 244 с.
- Borisova, D. 2004. Granite reflectance spectra behaviour depends to its rock-forming minerals. – *UMG Annual*, 47, 233-236.
- Borisova, D., R. Kancheva. 2003. Spectrometric study of rocks as a mixed class. – *10th Jubilee National Conference with International Participation*, Sofia, 158-161.
- Borisova, D., R. Kancheva. 2006. Spectral mixture analysis of land covers. – *Proceedings of 25th EARSeL Symposium*, Millpress, Rotterdam, 509-516.
- Elvidge, C., R. Lyon. 1985. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. – *Remote Sensing Environ.*, 17, 265-279.
- Henderson, K. E., G. D. Badhwar. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. – *Remote Sensing Environ.*, 14, 55-63.
- Kancheva, R. 1999. State assessment of the soil-vegetation system using spectrometric data. – *PhD thesis*, 142 p. (in Bulgarian)
- Mishev, D., A. Krumov, V. Atanassov, D. Krezhova, V. Boycheva. 1993. Simultaneous use of data obtained by different multichannel spectrometers. *Compt. Rend. 'Acad. Bulg. Sci.*, 46, 9, 53-56.

ТЕОРЕТИЧНИ И СТЕНДОВИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ КОЕФИЦИЕНТА НА ХИДРАВЛИЧНО СЪПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ДВИЖЕНИЕ НА ГАЗ В ПОЛИЕТИЛЕНОВИ ТРЪБИ ИЗПОЛЗВАНИ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ГАЗОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИ МРЕЖИ

Мартин М. Бояджиев, Милко Х. Харизанов

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

РЕЗЮМЕ. В настоящата статия се разглежда актуален проблем, свързан с практиката при проектирането на газоразпределителни мрежи. Дейности характеризирани се с използване на високи технологии и съвременни материали. Основната цел е разработване на методика за оптимизиране проектирането на газопроводи и газоразпределителни мрежи изградени от полиетиленови тръби – висока плътност (PE-HD). Направен е обзор на използваните в практиката хидравлични модели за описание движението на газ в тръбопроводни системи. Разработен е лабораторен стенд за определяне коефициента на хидравлично съпротивление при движение на газ в полиетиленови тръби използвани за изграждане на газоразпределителни мрежи у нас. Разработена е конкретна методика за изследване и определяне на хидравличните съпротивления при движение на технически газ в тръби PE-HD на база обзор и анализ на използваните в световната практика хидравлични модели за описание движението на газ в тръбопроводни системи ниско налягане. Изследвани и оценени са режима на движение на газа при конкретни условия, числото на Reynolds и коефициента на хидравлично триене при експеримента и пресмятания на база емпирични зависимости.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY FOR DETERMINATION OF THE HYDRAULIC FRICTION FACTOR IN CASE OF GAS TRANSPORT IN PE – HD PIPELINE FOR GAS DISTRIBUTION SYSTEMS

Martin M. Bojadiev, Milko H. Harizanov

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

ABSTRACT. This paper presents a review of actual problem to application practice project and design of gas distribution systems. The paper will describe the development of all generally equation and formulas that can be used as project and design pipeline system. The laboratory experimental apparatus of experimental determination of pressure drop and friction loss in PE – HD pipe is development. The experimental part of this paper present the results of experiments run in a new laboratory apparatus. The objectives of these experiment were to evaluate the pressure drop, hydraulic friction factor, Reynolds number and to analyses. The results of flow test have sometimes appeared to be contradictory and difficult to explain in future study.

Въведение

Практиката при съвременното проектиране и строителство на газоразпределителни мрежи се характеризира с използване на високи технологии и съвременни материали. В последните години у нас, поради своите предимства за изграждане на газоразпределителни мрежи се използват основно *полиетиленови тръби висока плътност*. Използва се полиетилен PE-HD 80 и PE-HD 100 отговарящ на изискванията на стандарт БДС-EN 12 007-2.

Полиетиленовите тръбопроводи имат редица предимства като:

- дълговечност на експлоатация (50 години);
- висока технологичност при полагането им за градски газоразпределителни мрежи и улични комуникации поради голямата дължина на безшевните участъци до 400 линейни метри;
- автоматизирани технологии за високо качествени муфове съединения на тръбите;

- еквивалентната грапавина на тръбите по вътрешен диаметър е малка и практически не се изменя във времето;
- ниска себестойност при експлоатация, в частност и за това че тръбите не се повреждат от корозия и не е обходима електрохимична защита;
- мобилност и висока производителност на групите по изграждането на газоразпределителните мрежи.

Технологичните решения при проектиране на тръбопроводни системи, в частност газови мрежи се базират на *хидравлични и якостно – деформационни пресмятания и оразмерявания*. Основните изследвания по хидравликата на движение на флуиди - течности в тръбопроводи са провеждани в средата на 20 век. Установените емпиричните закони за движение на течностите са използвани и за пресмятане на хидравличните съпротивления при движение на газ, като установените зависимости са получени от изследвания проведени за стоманени, азбестови и циментови тръби. Към настоящият момент тези закони - математични модели са общо приети и са в основата на нормативните документи използвани при проектирането на

тръбопроводни системи, както за стоманени така и за полиетиленови тръби. Грешката, която може да се допусне в случая е до 20-25 % [2, 3, 4, 7]. Това налага прецизиране на използваните емперични формули за определяне на коефициента на хидравлично триене при движение на газ за конкретния материал – полиетилен висока плътност [1, 2, 4, 7].

За тази цел е необходимо разработването на стенд и методика за експериментално определяне хидравличните съпротивления при движение на газ (въздух, азот и природен газ) в полиетиленови тръби при различни условия - диаметър и дължина на тръбопровода; вид използван газ; режим на движение и др.

В съответствие с поставените цели е разработен стенд, за провеждане на експериментите и методика за определяне хидравличните съпротивления (линейни) при движение на газ (въздух, азот и природен газ) в полиетиленови тръби за газоразпределителни мрежи.

Стеновите изследвания на хидравличните съпротивления на полиетиленови тръби са извършени на 2 етапа в учебна лаборатория *“Хидравлика и транспорт на нефт и газ”* към катедра “Сондиране и добив на нефт и газ” при Минно-Геоложки Университет “Св. Иван Рилски” София по ДОГОВОР ГПФ №84/2006, НИСМ, [4]:

I етап – Разработване на стенд и методика за определяне коефициента на хидравлично съпротивление в периода август – октомври 2006г.

II етап – Експериментални лабораторни измервания и обработка на получените резултати, включващи тест тръба от материал PE-HD PE-80 в периода октомври – декември 2006г.

Експерименталната част в ДОГОВОР №ГПФ 84/2006 “Стенови изследвания за определяне коефициента на хидравлично съпротивление при движение на газ (въздух, азот и природен газ) в полиетиленови тръби за изграждане на газоразпределителни мрежи” е свързана с измерване на режимните параметри при работа на тръбопровод (входно налягане, разход, температура, наляганя в определени точки по дължина на тръбопровода и определяне загубите (линейни) на налягане, коефициента на хидравлично съпротивление (триене), критерия на Reynolds и режима на движение на газ в полиетиленови тръби (PE-HD).

Теоретична постановка

Хидравличните изчисления и пресмятания на газопроводи се извършват на база общоприети уравнения на хидравликата на флуидите, в частност газовата динамика, основаващи се на функционална взаимовръзка между хидравличният диаметър, разхода (дебита) на газ и пада на налягане в тръбопровода с известна дължина, конструкция и използван материал. От уравненията може да се определи желан параметър по зададени изходни стойности на останалите параметри.

Основният въпрос при оразмеряване и проектиране на газопроводи и газоразпределителни мрежи се явява определянето на *коефициента на хидравлично триене*,

влизащ в изходното уравнение описващо движението на газа и определящ хидравличната характеристика на използваните тръби и тръбопроводната система. В качеството на изходен модел за описанието на движението на газ се използва общоприетият модел на Darcy-Waisbah [1, 3, 4, 5, 6, 8] и неговите модификации, уравнения (1) и (2):

$$Q = C \cdot \frac{T_b}{P_b} \cdot D^{2.5} \cdot \left(\frac{P_1^2 - P_2^2}{L \cdot \rho \cdot T_a \cdot Z_a \cdot \lambda} \right)^{0.5}, \quad (1)$$

$$P_1^2 - P_2^2 = 1,62 \cdot \lambda \cdot \frac{Q_0^2}{d^5} \cdot \rho_o \cdot P_o \cdot \frac{T}{T_o} \cdot L \cdot Z, \quad (2)$$

където:

Q и Q₀ е обемният дебит при стандартни условия, [m³/24h];

C – константа, C = 0,0011493;

D, d – хидравличният (вътрешен) диаметър на тръбопровода, [mm];

L – дължината на тръбопровода, [km];

P₁ – началното налягане, [kPa];

P₂ – крайното налягане, [kPa];

P_b, P_o – стандартното налягане, [kPa];

T_b, T_o – стандартната температура, [°K];

T_a – средната температура, [°K];

λ – коефициентът на хидравлично триене, [-];

ρ, ρ_o – относителната плътност на газа, [-];

Z_a, Z – коефициентът на свръхсвиваемост на газа, [-].

Загубите на налягане в тръбопровод се определят в зависимост от режима на движение на флуида по дължина на тръбопровода, който се характеризира с критерия (числото) на Reynolds зависещ от параметрите на газа, хидравличният диаметър на тръбата и скоростта на потока:

$$Re = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu}, \quad (3)$$

където:

D е хидравличният (вътрешен) диаметър на тръбопровода;

V – средната скорост на потока флуид в тръбопровода;

μ – динамичният вискозитет на флуида;

ρ – плътността на флуида.

Режима на движение се дефинира като *ламинарен*, ако критерият на Reynolds е по-малък от 2100. Режимът е *турбулентен* при следните установени зони: *зона хидравлично “гладки” тръби*, *зона смесено триене* и *зона квадратично триене*, ако Reynolds е по-голям от 4000. Когато критерият на Reynolds е между 2100 и 4000 говорим за *преходен режим* на движение [1, 3, 4, 5, 6].

При хидравличните изчисления на магистрални газопроводи и газоразпределителни мрежи *коефициента на хидравлично триене (λ или f)* е основна величина, която подлежи на определяне в експериментални изследвания и λ = f (Re, Ke/D) се определя в зависимост от режима на движение (Критерият на Reynolds) и относителната

грапавост на тръбопровода (K_e/D) графично по диаграмата на Moody, в чиято основа лежи уравнението на Colebrook – White или по емпирични формули и зависимости [3, 6, 8].

Съществуват различни подходи и форми на аналитично представяне на зависимостта $\lambda = f(Re, K_e/D)$ и определяне на коефициента на хидравлично триене (λ).

При направата на литературният обзор и анализа относно този проблем авторският колектив предлага използването на следните аналитични подходи при обработка и анализиране на експерименталните резултати:

I. Подхода е основно използван в *руската практика* при хидравлично оразмеряване на газопроводи и газоразпределителни мрежи при промишлена и битова газификация. Базира се на стандарти, отраслови нормали, фундаментални научни теоретични и практически разработки [1, 2, 3, 5].

За определяне критерият на Reynolds (Re) са предложени зависимости по Г. Николов и СНиП 2.04.08 – 87* предложени в [3, 5]

При ламинарен режим на движение на газа $Re < 2100$, коефициента на хидравлично триене зависи само от критерия на Reynolds и се определя по формулата Hagen-Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \quad (4)$$

При преходен режим на движение на газа $2100 < Re < 4000$, коефициента на хидравлично триене се определя по формулата на Р. М. Зайченко:

$$\lambda = 0,0025 \sqrt[3]{Re}, \quad (5)$$

При турбулентен режим на движение на газа $Re > 4000$, в съответствие с посочените три зони - зона хидравлично "гладки" тръби, зона смесено триене и зона квадратично триене, хидравличните съпротивления са различни и зависят от т.н. гранични стойности на критерия на Reynolds за установяване на съответната зона на турбулентният режим.

За зона хидравлично "гладки" тръби, коефициентът на хидравлично триене зависи основно от критерия на Reynolds и се определя по формулата на Blasius:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}, \quad (6)$$

За зона смесено триене, коефициента на хидравлично съпротивление зависи от критерия на Reynolds и относителната грапавост по вътрешен диаметър на тръбопровода. Определя се по формулата на Алтшул и производни корелационни зависимости.

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{K_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (7)$$

За зона квадратично триене, коефициента на хидравлично съпротивление зависи основно от

относителната грапавост и се определя по формулата на Shefrinsson:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{K_e}{D} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

II. Подхода е основно използван в *европейската практика* при хидравлично оразмеряване на газопроводи и газоразпределителни мрежи за промишлена и битова газификация. Базира се на стандарти AGA Technical Report № 10 (1965), PSIG – Pipeline Simulation Interest Group, "N .V. Nederlandse Gasunie" и фундаментални научни теоретични и практически разработки [6, 7, 8].

За определяне критерият на Reynolds (Re) са предложени зависимости по Schroeder, D и E. Shashi Menon и American Gas Association (AGA) предложени в [6, 8].

При ламинарен режим на движение на газа, коефициента на хидравлично триене зависи само от критерия на Reynolds и се определя по формулата Hagen-Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re}, \text{ или } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{\sqrt{Re}}{8}, \quad (9)$$

При турбулентен режим на движение на газа, в съответствие с посочените три зони - зона хидравлично "гладки" тръби, зона смесено триене и зона квадратично триене, хидравличните съпротивления са различни и зависят от т.н. гранични стойности на критерия на Reynolds за установяване на съответната зона на турбулентният режим.

За зона хидравлично "гладки" тръби коефициента на хидравлично триене зависи основно от критерия на Reynolds и се определя по закона за "smooth pipe law" на von Karman и Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log(Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8 = 2 \cdot \log \frac{Re \cdot \sqrt{\lambda}}{2,51}, \quad (10)$$

За зона смесено триене, коефициента на хидравлично съпротивление зависи от критерия на Reynolds и относителната грапавост по вътрешен диаметър на тръбопровода. Определя се по формулата на Colebrook – White и производни корелационни зависимости.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right), \quad (11)$$

За зона квадратично триене, коефициента на хидравлично съпротивление зависи основно от относителната грапавост и се определя по формулата на Nikuradse.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log \left(\frac{D/k}{2} \right) + 1,74 = -2 \cdot \log \left(\frac{k/D}{3,71} \right), \quad (12)$$

където:

D или d е хидравличният (вътрешен) диаметър на тръбопровода;

Re – критерият на Reynolds;

K_e или k – еквивалентната грапавост на тръбата по вътрешен диаметър;

λ – коефициентът на хидравлично триене.

Пресмятането на експерименталната стойност на коефициента на хидравлично съпротивление ($\lambda_{\text{екс}}$) на база резултатите от експерименталните изследвания се извършва използвайки общоприетият модел на Darcy-Waisbah за описанието на движението на газ [1, 3, 6, 8]. Използвани са основни зависимости (1) и (2), като същите са развити и са получени формули за оразмеряване и хидравлично пресмятане на газопроводи и газоразпределителни мрежи ниско налягане [1, 4, 6, 8].

$$P_1 - P_2 = 1,6 \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{Q^2 L}{d^5}, \quad (13)$$

където:

Q е обемният дебит при стандартни условия, [m³/24h];

d - хидравличният (вътрешен) диаметър на тръбопровода, [mm];

L – дължината на тръбопровода, [m];

P₁ – началното налягане, [kPa];

P₂ – крайното налягане, [kPa];

λ – коефициентът на хидравлично триене, [-];

ρ – относителната плътност на газа, [-].

$$P_1 - P_2 = 1,02 \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}, \quad (14)$$

където:

V е средната скорост на движение на газа по дължина на тръбопровода, [m/s];

D - хидравличният (вътрешен) диаметър на тръбопровода, [m];

L – дължината на тръбопровода, [m];

P₁ – началното налягане, [kgf/m²];

P₂ – крайното налягане, [kPa];

λ – коефициент на хидравлично триене, [-];

ρ – плътността на газа, [kg/m³]

Предложените формули (13) и (14) са коректни за несвиваеми флуиди, движещи се с постоянна скорост при константна плътност т.е. за газопроводи и мрежи ниско налягане, където пада на налягане е неголям и удовлетворява условието: $\Delta P = (P_1 - P_2)/P_1 < 5\%$ [1, 4, 7]. Грешката при пресмятането в случая е по-малка от 1,5%.

Изследванията [1, 7, 8] показват, че в приетите модели за описание на движението на газ и определяне на хидравличната характеристика на газопроводите и газоразпределителните мрежи е целесъобразно да се направят редица уточнения. Към настоящият момент има доста малко информация и данни за промишлени и експериментални стендови изследвания при движение на газ в полиетиленови тръби [2]. Като единствен възможен за реализация у нас начален подход е провеждането на стендови експерименти с цел разработване методика за

определяне и пресмятане на хидравличните съпротивления, коефициента на хидравлично триене и режима на движение на газ в полиетиленови тръби.

Разгледани, приложени и изследвани при обработка на експерименталните резултати са следните теоретични хидравлични модели за пресмятане на коефициента на хидравлично триене ($\lambda_{\text{теор.}}$) при турбулентен режим на движение на газа за установените зони: *зона хидравлично "гладки" тръби* и *зона смесено триене* имащи най - голямо признание и практическо приложение. На този етап от изследванията се пренебрегват граничните стойности на критерия на Reynolds за установяване на съответната зона на турбулентният режим при конкретните условия на експеримента. На база обобщени резултати от промишлени изследвания [1, 2] върху режимите на движение на газ в газоразпределителни мрежи в градски условия (газопроводи ниско и средно налягане) определени при: *известен диаметър, разчетен дебит, при преходен и турбулентен режим на движение, и нови стоманени тръби*, анализирайки данните може да се направи извод, че движението на газа в газопроводи и газоразпределителни мрежи – ниско и средно налягане е основно при турбулентен режим - *зона хидравлично "гладки" тръби* съответно 59 % при ниско налягане и *зона смесено триене*, съответно 20 % при ниско налягане и 86% при средно налягане.

За оценка на експерименталните стойности на коефициента на хидравлично съпротивление по резултатите от измерванията са използвани следните известни хидравлични модели:

1. Формулата на Алтшул (7) е предложена за оразмеряване на газопроводи и газоразпределителни мрежи при турбулентен режим на движение на газа, основно в *зоната на смесено триене* [1, 2, 3, 5, 7].

2. Формулата на Colebrook – White и производните ѝ корелационни зависимости (11) са предложени и описват движението на газа при турбулентен режим в транзитната зона между *зона хидравлично "гладки" тръби* и *зона смесено триене* [3, 6, 7, 8]

Експериментална част

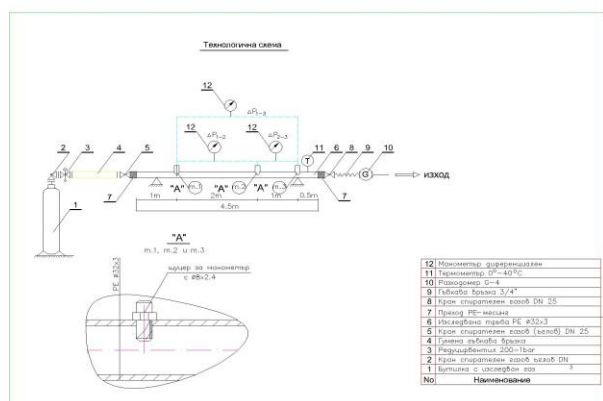
Стендовите изследвания на хидравличните съпротивления при движение на газ – въздух са извършени с разработен хоризонтален стендов тест-тръбопровод с постоянно сечение [4]. Елементите на стенда са:

- дължината на тръбопровода е 4,5 m;
- материал полиетилен висока плътност със следните технически характеристики: PE-80 (PEHD), Ø 32x3,0, SDR – 11, DVCW DG 8105 AS2199, DIN EN1555;
- преходи полиетилен – стомана Ø 40x11/4;
- сферични кранове;
- муфи - месинг 1 1/4"Vi;
- нипели - месинг 1 1/4"1 Vi;
- гъвкава връзка за газов разходомер – INOX 200/400-3/4";
- разходомер за природен газ, модел GGR Gas, code 23343, #10583845, Q_{max}= 6 [m³/h], Q_{min}= 0,04 [m³/h];

- Дигитален диференциален манометър за ниско налягане, модел *Krom Schroder DMG S2510, id # 033521146, range: 1000mbar, temp. 0 – 40 °C*;
- Термометър, “U” образен манометър и запасни части.

На фигура 1 е представена принципната технологична схема на експерименталната стендова установка и проектираните отвори, и щуцери. Стенда е проектиран за максимално работно налягане 4 [bar] и температура от 0 °C до 50 °C.

Поради техническа невъзможност да бъде измерена реалната грапавост на вътрешната повърхност на избраните полиетиленови тръби – висока плътност (*Тръба # 1 PE-80 (PEHD), Ø 32x3,0*), еквивалентната грапавост на тръбата (*Ke*) при обработката на резултатите и пресмятане на коефициента на хидравлично съпротивление е приета съгласно [4, 5, 6]. Приети са следните препоръчителни проектни стойности на еквивалентната грапавост за полиетиленови тръби висока плътност, както следва $K_1 = 0,0015$; $K_2 = 0,0020$; $K_3 = 0,0090$ cm.



Фиг. 1. и 1а. Принципна технологична схема на експерименталната стендова установка за определяне хидравличната характеристика на полиетиленови тръби – висока плътност

В четири точки по дължина на тръбопровода са направени отвори в стената на тръбата с диаметър Ø 8 [mm], в които са монтирани щуцери – нипели за свързване на измервателната апаратура и приборите – дигитален и “U” образен манометри, чрез гумени шлангове и термометър. Проектираните и изработени отвори и щуцери са представени на фигура 1а.

Първият отвор – точка #1 е локализиран на 1 [m] от началото на тръбопровода, точка #2 на 2 [m], а точка #3 на 1 [m] от преходната. В края на тръбопровода са монтирани образец термометър, манометър и разходомер за газ.

Лабораторни експериментални изследвания

Авторският колектив е използвал следните подходи [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9] представени в теоретичната част при изследванията, обработката и анализа на

експерименталните резултати. Всички експерименталните резултати са представени в ДОГОВОР ГПФ №84/2006, НИСМ [4]. Обработката на експерименталните резултати са извършени по следната процедура:

1. Тества се стенда за херметичност, измерват се температурата и налягането в лабораторията;
2. За всеки един от опитните тестове (общо 7 теста) се избира входно налягане в диапазона – (1,0-4,0) със стъпка 0,5 [kgf/cm²];
3. При избрано входно налягане се установява стационарен режим на движение на газа в тръбопровода за определено време, след което се измерва разхода (дебита) при стандартни условия с разходомер за природен газ;
4. Измерват се наляганията в точки #1, 2 и 3 с дигитален диференциален манометър, при вече установен стационарен режим на движение на газа, след което се пресмятат загубите на налягане. Процедурата се изпълнява за всеки един от опитните тестове (общо 7 теста) при избрано входно налягане и измерен разход (дебит).

За някои от опитните тестове, наляганията в точки #1, 2 и 3 са измерени с “U” образен манометър – вода, за проверка точността на дигиталният манометър и получаване на по-коректни стойности на наляганията. Опитните експериментални резултати са представени в Таблица 1.

5. Пресмятат се средният разход и средната скорост на газа в тръбопровода за всеки един от опитните тестове;

6. При известни стойности на дебита (или скоростта) на газа, хидравличният диаметър на тръбопровода и параметрите на газа (плътност, относително тегло, динамичен или кинематичен вискозитети) се пресмята критерият на Reynolds по зависимости [3, 5, 6, 8];

7. Определя се опитната (експериментална) стойност на коефициента на *хидравлично триене* по методики [1, 5, 7, 8] и формули (13) и (14). Част от експерименталните резултати [4] и пресметнатите стойности са представени в Таблица 2;

8. Определя се теоретичната стойност на коефициента на *хидравлично триене* по методики [1, 2, 3, 7, 8], при съответният режим на движение на газа и приетите коефициенти на абсолютна еквивалентна грапавост на вътрешната повърхност на тръбата от формули (7), (10) и (11). Част от експерименталните резултати [4] и пресметнатите стойности са представени в Таблица 2;

9. Построяват се графики на функционалните връзки на зависимостите коефициент на хидравлично триене (теоретичен и експериментален) от режима на движение и еквивалентната грапавост: $\lambda = f(Re, Ke/D)$;

10. Извършва се оценка и анализ на експерименталните резултати, като се сравнява степента на съвпадение между опитните (експериментални) стойности на коефициента на *хидравлично триене* и теоретичните чрез корелационен анализ по средноквадратичните отклонения.

Експериментални резултати за определените основни разходи (дебити) на газ при установен режим на движение за всеки един от опитните 7 теста и пресметнатите средни

стойности на разхода, пада на налягане, скоростта на газа по дължина на тръбопровода и измерените налягания в точки #1, 2 и 3, и определените загуби на налягане при съответният тест-режим в разглеждан участък от тръбопровода са представени в Таблица 1.

Таблица 1

Резултати от експерименталните изследвания

Опитна постановка на лабораторните измервания							
Тръба # 1 Полиетилен висока плътност PE-80 (PEHD), Ø 32x3,0 Вътрешен хидравличен диаметър d = 26 [mm] Приет коефициент на абсолютна еквивалентна грапавост на вътрешната повърхност на тръбата за полиетилен висока плътност $K = 0,0020$ [cm] Стандартни условия: Тст. = 20 ± 1 [°C] и Рст. = $101,325 \pm 0,1$ [kPa] Температура в лабораторията Тлаб. = $19,7 \pm 1$ [°C] Налягане в лабораторията Рлаб. = $962,4 \pm 0,2$ [mbar] Разстояние от точка #1 до точка #2, $L_{1-2} = 2$ [m] Разстояние от точка #2 до точка #3, $L_{2-3} = 1$ [m] Разстояние от точка #1 до точка #3, $L_{1-3} = 3$ [m]							
Опитни експериментални резултати							
№	Входно налягане, $P_{вх}$	Обемен среден разход (дебит) на газ при стандартни условия [m³/min] Експериментално измерени налягания в точки #1, 2 и 3; P_i [mbar] Пад на налягане в разглеждан участък от тръбопр.; ΔP_i [mbar] Среден пад на налягане за линеен метър; $\Delta P_{ср}$ [kPa]					
		[kgf/cm²]	$Q_{ср}$	$\Delta P_{ср}$	Критерий на Reynolds по E. Shashi Menon и AGA []	ΔP_{1-2}	ΔP_{2-3}
1.	1,0	0,066	0,015	3003	0,2	0,1	0,3
2.	1,5	0,083	0,025	3777	0,4	0,1	0,5
3.	2,0	0,100	0,030	4577	0,6	0,2	0,8
4.	2,5	0,118	0,035	5383	0,4	0,3	0,7
5.	3,0	0,133	0,045	6052	0,8	0,4	1,2
6.	3,5	0,145	0,055	6579	0,5	0,3	0,8
7.	4,0	0,163	0,070	7430	0,6	0,3	0,9

В Таблица 2 са представени стойностите на коефициента на хидравлично съпротивление – теоретичен и експериментален, в зависимост от режима на движение на газа (Критерият на Reynolds) и приетите значения на коефициента на еквивалентната грапавост за полиетиленови тръби висока плътност за една от сериите опити. Значението и оценката на теоритичната стойност на коефициента на хидравлично съпротивление е определена в съответствие предложените модели и формули (7), (11), (13), (14).

Анализ на резултатите

Оценяването на коефициента на хидравлично съпротивление, определен на база експериментални изследвания, се използва за проверка кой от посочените теоретични хидравлични модели използвани в практиката [2, 4, 7, 8] е подходящ за описание движението на газ по тръбопровод изграден от полиетиленови тръби.

Съществуват различни подходи и форми на аналитично представяне на зависимостта $\lambda = f(Re, Ke/D)$ и определяне на **коефициента на хидравлично триене** (λ).

В зависимост от пресметнатите стойности на критерият на Reynolds, по методики [3, 4, 5, 8], се установява, че за условията на експеримента режима на движение на газа е **турбулентен**, с изключение на режима в тест #1 който е **преходен**.

Няма съществено различие между предложените зависимости [3, 5, 6, 8] за определяне критерия на Reynolds за газопроводи високо налягане по методики предложени от Г. Николов, СНИП 2.04.08 – 87* и Schroeder, D. Формулата предложена Е. Shashi Menon и American Gas Association (AGA) дава по – ниски стойности на критерия и потвърждава извода [1, 2, 6, 8], че е коректна за използване при оразмеряване на газопроводи и мрежи ниско налягане.

Като се вземат предвид тези резултати, за определяне на критерия на Reynolds при установяване режима на движение на газ в газопроводи и мрежи ниско налягане може да бъде препоръчана формула (15) на Е. Shashi Menon и American Gas Association (AGA).

$$Re = 0,5134 \cdot \frac{P_b}{T_b} \cdot \left(\frac{\rho \cdot Q}{\mu \cdot D} \right), \quad (15)$$

където:

Q е обемен дебит при стандартни условия, [m³/24h];

D - хидравличният (вътрешен) диаметър на тръбопровода, [mm];

P_b – стандартното налягане, [kPa];

T_b – стандартната температура, [°K];

ρ – относителната плътност на газа, [-];

μ – динамичният вискозитет, [Poise].

За по-детайлно определяне на режима на движение на газа е необходимо да се установят т.н. гранични стойности на критерия на Reynolds за определяне на съответната зона на турбулентният режим.

Изложени са няколко основни извода, направени на база резултатите от обработката на експерименталните данни по посочените методики в процедурата както следва. В таблица 2 са представени пресметнатите теоретичните и експериментални средни стойности на коефициента на **хидравлично триене** за зададените условия на експеримента. Показани са на фигура 2 функционалните връзки илюстриращи зависимостта - коефициент на хидравлично триене от режима на движение и приетата еквивалентна грапавост.

Видно е, че използваните теоретични хидравлични модели за условията на експеримента дават еднакви резултати за **теоретичният** коефициент на **хидравлично триене** в граници $\lambda = 0,0353 - 0,0433$ определен по формула (7) и $\lambda = 0,0330 - 0,0430$ по формула (11).

Използваните хидравлични модели от авторският колектив за условията на експеримента дават следните

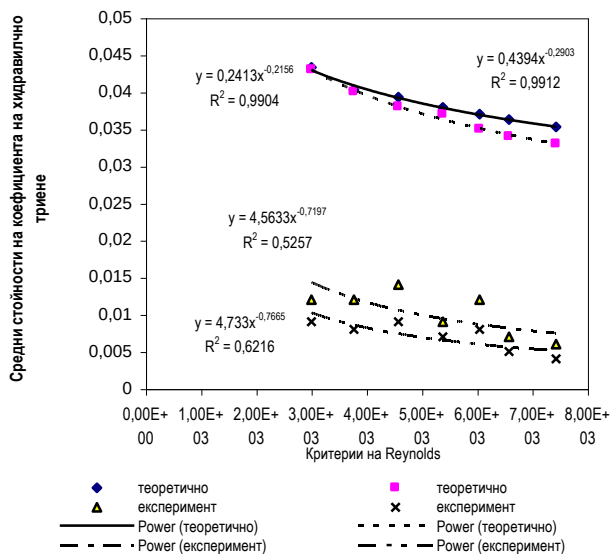
результати за експерименталният коефициент на хидравлично триене изразен със средните стойности в граници $\lambda = 0,004 - 0,009$ по формула (13) и $\lambda = 0,006 - 0,014$ по формула (14).

Таблица 2

Средни стойности на теоритичните и експериментални стойности на коефициента на хидравлично съпротивление

№	Критерий на Reynolds по E. Shashi Menon и AGA []	Средни стойности на теоритичните и експериментални стойности на коефициента на хидравлично съпротивление, на база предложените и използвани хидравлични модели			
		λ теор по формулата на Алтшул (7)	λ теор по формулата на Colebrook – White (11)	λ експер по формула (14)	λ експер по формула (13)
1.	3003	0,0433	0,0430	0,012	0,009
2.	3777	0,0403	0,0400	0,012	0,008
3.	4577	0,0393	0,0380	0,014	0,009
4.	5383	0,0379	0,0370	0,009	0,007
5.	6052	0,0370	0,0350	0,012	0,008
6.	6579	0,0363	0,0340	0,007	0,005
7.	7430	0,0353	0,0330	0,006	0,004

Зависимост на средните стойности на коефициентите на



Фиг. 2. Зависимости на средните стойности на коефициента на хидравлично триене (теоретични и експериментални) от режима на движение на газа.

В тази връзка при съпоставяне, оценка и анализ на експерименталните резултати, използваните хидравлични модели и корелационни зависимости се оказват неподходящи за описание движението на газ в

полиетиленови тръби при зададените експериментални условия и се нуждаят от уточнение.

Необходимо е да се уточни функцията $\lambda = f(Re, Ke/D)$, като се установят т.н. гранични стойности на критерия на Reynolds за определяне на съответната зона на турбулентният режим и еквивалентната грапавост и да се предложи формула за изчисляване на коефициентът на хидравлично триене при условията на движение на газ в полиетиленови тръби за условията на експеримента, близки до промишлените у нас.

Изводи и препоръки

Въз основа на извършената научноизследователска работа могат да бъдат направени следните изводи и препоръки:

- направен е обзор на използваните в световната практика хидравлични модели за описание движението на газ в тръбопроводни системи при проектирането им;
- разработен е лабораторен изследователски стенд, позволяващ определянето на хидравличната характеристика на газопроводи и мрежи, изградени от полиетиленови тръби – висока плътност;
- разработена е конкретна методика за изследване и определяне на хидравличните съпротивления при движение на технически газ в тръби PE-HD.

Авторският колектив изказва благодарност на фирма "Овергаз-техника" - "Овергаз Инк" АД, "Газтек БГ" и фирма "Газтерм системс" ЕООД, за оказаното съдействие, материална и техническа подкрепа при разработването на стенда и провеждането на изследванията и анализите.

Литература

1. Ионин, А. А. 1989. Газоснабжение. М., Стройиздат.
2. Карасевич, А. М., М. Г. Сухарев, И. В. Тверской. 2002. Анализ результатов экспериментов по оценке гидравлического сопротивления полиэтиленовых труб. – 1 Международная научно-техническая конференция DISCOM 2002.
3. Николов, Г. К. 1993. Транспорт и съхраняване на нефта и газа. С., Минно-геоложки университет.
4. Отчет на договор ГПФ №84/2006, НИСМ, МГУ "Св. Иван Рилски", 2007.
5. Строительные нормы и правила газоснабжения. 1995. СНиП 2.04.08 – 87*, М.
6. Shashi Menon, E. 2005. Gas Pipeline Hydraulics. M. Dekker, Inc.
7. Piggott, J., N. Ravell, T. Kurschat. 2002. Taking the rough with the smooth – a new look at transmission factor formulae, PSIG, 23-25 October 2002.
8. Schroeder, D. W. Jr. 2001. A tutorial on pipe flow equations. Stoner Associates, Inc., August 16, 2001.

АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ РЕЖИМА НА ГАЗОВИ ЗАЛЕЖИ В НАЧАЛНИЯ ЕТАП НА РАЗРАБОТКА

Любомир Геров, Лъчезар Георгиев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; lgerov@mgu.bg; lucho_sdng1@yahoo.com

РЕЗЮМЕ. В доклада е направен анализ на методите за определяне режима на газови залежи в началния етап на разработка. На базата на разгледаните методи е определен режима на газово находище Българево.

ANALYSIS OF THE METHODS FOR REGIME DETERMINING OF GAS FIELDS IN THE BEGINNING STAGE

Lubomir Gerov, Lachezar Georgiev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; lgerov@mgu.bg; lucho_sdng1@yahoo.com

ABSTRACT. Analysis of the methods for regime determining of gas reservoir is made in the paper. On the basis of these methods the regime of gas reservoir Bulgarevo is determined.

I. Увод

Определянето действителния режим на газовите залежи в началния период на разработка е от съществено значение при проектирането, анализирането и прогнозирането на бъдещата експлоатация.

1. Общи сведения за режимите на газовите* находища

Под режим на газово находище се разбира проявата на доминиращият вид пластова енергия осигуряваща притока на газ към забоя на сондажите.

При газовите находища съществуват два основни режима на работа: газов и водонапорен. При газовия режим притокът на газ към забоя на сондажите се осъществява от енергията на свития газ. Този режим има две разновидности:

- еластичногазов;
- газо-деформационен.

Характерна особеност на еластичногазовия режим е постоянството на началният газонаситен обем през целия период на разработка. Този режим се проявява, когато отсъства водоносна система или тя има ограничен потенциал.

Газо-деформационният режим се проявява в газови залежи, привързани към плътни пукнатинно-кавернозни колектори, залягащи на голяма дълбочина или залежи,

характеризирани се с аномално високо пластово налягане. В този случай при изменение на пластовото налягане началният газонаситен обем се намалява др. (Коротаев, Геров, Закиров, 1979).

Газонаситеният обем може да се променя и в следствие на други процеси: отлагане на газов кондензат; сорбция или десорбция на газа, изпарение на остатъчната вода и др.

При проява на водонапорен режим в процеса на разработка, в газовия залеж постъпват долнищните или контурните води. Това води към намаляване на газонаситения обем на залежа. Притока на газ към забоя на сондажите се осъществява от енергията на свития газ и енергията на внедряващата се вода. В резултат на предвижването на водата, част от газовия залеж и част от сондажите се оводняват. Водонапорният режим се характеризира с три основни разновидности:

- еластично-водонапорен;
- активно-водонапорен;
- вътрешно-водонапорен.

Проявата на една или друга разновидност зависи от множество фактори по-важните от които са: колекторските свойства на залежа и водоносната система; темпът на разработване на залежа; разположението на сондажите върху площта на залежа, размерите на водоносната система и нейният тип.

* В настоящата статия под газови находища се разбират и газокондензатни находища.

II. Съвременна практика за определяне режима на газовите залежи

Съвременното проектиране на разработката на газовите и особено на газокондензатните залежи налага определянето на възможния режим да бъде направено още в началния период на експлоатация. Това е свързано с принципната разлика в динамиката на изменение на пластовото налягане и разположението на сондажите при газовия и водонапорния режими.

Режимът на газовите залежи може да бъде прогнозиран, а след определен период от време и потвърден по данни:

- за общия строеж на единната хидродинамична система газозалеж-водоносна система;
- за филтрационните и капацитетни свойства на тази система;
- за изменението на пластовото налягане в залежа и водоносната система;
- за предвиждане на пластовата вода в газовата част на находището и свързаното с това оводняване на газовите сондажи.

В началния период на разработване тези данни се получават трудно и за целта е необходимо да се прилага комплекс от лабораторни, сондажно-геофизични, сеизмични, хидрохимични и промишлени изследвания. (Рассохин, Леонтьев, 1979). В практиката намират приложение следните методи, базиращи се на данните от посочените изследвания.

Методът на спадане на пластовото налягане е основно средство за оценка на режима на залежа. За използването на този метод е необходимо да са известни: съставът на газа и неговото изменение при промяна на термобаричните условия, началното пластово налягане в залежа, динамиката на изменение на пластовото налягане в процеса на експлоатация и сумарното количество добит газ към всеки момент на измерване на текущото пластово налягане. По тези данни се построява зависимостта между приведеното налягане (отношението на осредненото по обема на залежа пластово налягане $\bar{P}$ и коефициента на свръхсвиваемост $Z[\bar{P}]$, определен при това налягане) и сумарното добито количество газ т.е зависимост

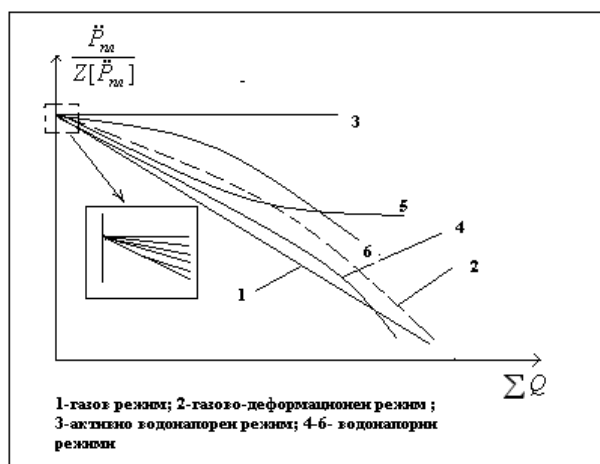
$$\frac{\bar{P}_{nl}}{Z[\bar{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q).$$

При газов режим и недеформируем колектор тази зависимост е праволинейна. Когато режимът не е газов или колекторът е деформируем тази зависимост може да не бъде линейна. Това се дължи на изменението на газонаситеният обем, в следствие на внедряването на извънконтурни или долнищни води в залежа или на изменението на обема на залежа при деформируеми колектори (Коротаев, Геров, Закиров, 1979, Аметов, Басниев, 1981, Геров, 1987). Съществено влияние върху характера на зависимостта при проявата на водонапорен режим оказва и темпът с който се разработва залежа. На фиг. 1 са показани възможните зависимости

$\frac{\bar{P}_{nl}}{Z[\bar{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$, които могат да се получат при проявата на посочените фактори.

Редица изследвания показват, че вследствие на оптималното съчетание на факторите – колекторски свойства, темп на добива на газ, енергетичен потенциал на водоносната система, е възможно, и при водонапорен режим да се получи праволинейна зависимост (Закиров, 1998). Влияние върху характера на зависимостта

$\frac{\bar{P}_{nl}}{Z[\bar{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$ може да оказват и различни технологични фактори: нехерметичност на обсадните колони на сондажите и произтичаща от това миграция на газа, неточности в отчитането на добитите количества газ, неправилно измерване на пластовото налягане в сондажите и др.



Фиг. 1. Възможни зависимости $\frac{\bar{P}_{nl}}{Z[\bar{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$

От фиг.1. се вижда, че в началния период на разработка, когато е добито сравнително малко количество газ почти всички зависимости имат праволинеен характер.

Ето защо в (Аметов, Басниев, 1981, Закиров, 1998), е показано, че видът на зависимостта $\frac{\bar{P}_{nl}}{Z[\bar{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$ не е достатъчен признак за определяне на режима на залежа.

За по-точното определяне на режима в началния период на разработка трябва да се използва допълнителна информация, получавана от следните изследвания и промишлени наблюдения.

Геофизичните изследвания са изключително важен източник на информация за възможния режим на залежа. В съвременната практика се утвърждава все повече прилагането на сеизмични изследвания (3-D и 4-D) чрез които се създава геоложкия модел на залежа, а по-късно се контролира началното и текущото положение на

водогазовия контакт. Съществена информация в процеса на експлоатация се получава и от сондажно-геофизичните изследвания. Чрез тях се детайлизира строежа на продуктивния хоризонт и се контролира изменението на водонаситеността в отделните части на разреза. По този начин се оценява възможното движение на водогазовия контакт. За съжаление, комплексът от тези изследвания е приложим в по-късните периоди на разработка, или при активна проява на водонапорният режим.

Информацията от пиезометричните сондажи, прокарани във водоносната част на продуктивния хоризонт е също изключително важна за уточняване на режима на залежите. Тя показва реакцията на водоносната система в процеса на разработка на газовия залеж. Сnižаването на налягането в системата от пиезометрични сондажи е съществен показател за навлизане на вода в газовия залеж. Трудността при използването на тези данни в началния период се състои в точността на определяне (измерване) на изменението на пластовото налягане в пиезометричните сондажи, както и тяхното техническо състояние.

Добивът на пластова вода от газовите сондажи е също важен признак за проявата на водонапорен режим. Не винаги обаче, оводняването на един или няколко сондажа свидетелствува за проява на водонапорен режим. При анализа на данните за оводняване на сондажите е от съществено значение състоянието (херметичността) на експлоатационните колони на сондажите. В началните периоди на разработка методът е с недостатъчна точност и може да се използва само в комбинация с други методи.

Установено е, че оводняването на сондажите се предшества от рязко увеличаване съдържанието на хлорни йони и общата минерализация в добиваната с природния газ вода (Рассохин, Леонтьев, 1979). За използване на данните от изследването на минерализацията на добиваните води и техния състав е необходимо в самото начало на разработка да бъде определен състава на пластовата вода във водоносната зона, както и състава на водите от по-високо или по-ниско залегащи водоносни хоризонти.

Данните от тези изследвания наречени **хидрохимически метод** позволяват да се осъществява не само качествен, но и количествен контрол за навлизане на пластова вода в залежа. В залежа може да постъпват "чужди" води от други хоризонти при наличие на хидродинамична връзка между тях в резултат на некачествена циментация, нехерметични обсадни колони или тектонско нарушение. При използване на метода, базиращ се на контролиране количеството на хлорни йони следва да се отчита и влиянието на проведените киселинни обработки, когато колекторът е изграден от карбонатни скали.

Практиката от прилагането на посочените изследвания показва, че в началния период на разработка, получаваните чрез тях данни като цяло са недостатъчни и

не позволяват направата на категорични изводи относно режима на залежите. Затова представлява интерес опита от прилагането им в конкретни залежи, разработвани през продължителни периоди от време. В настоящата статия е направен опит за оценка на прилагането на някои от тези методи за условията на газовото находище Българево,

III. Резултати и дискусия

1. Общи сведения за газово находище Българево

Българевското газово находище е открито през 1961 г. Намира се в района на с. Българево, между Каварна и нос Калиакра, в най-югоизточната част на приморска Добруджа. Дълбочината на залежане на продуктивните отложения е 380-400m. Българевската структура е силно нарушена от разседи. Амплитудата на разседите варира от 10 до 140 m. Продуктивният блок е най-високо издигнат. Водогазовият контакт е приет на абсолютна дълбочина минус 321 m. Продуктивният хоризонт е изграден от често редуващи се глинести, слабоспоени, финозърнести пясъчници с непостоянна глинестост и дебелина (0,1-2,5 m) и различно пясъкливи глини с олигоценска възраст. Поровата вместимост на колектора се изменя от 19,7 до 31,8 %, а проницаемостта, определена от изследването на ядката от $10,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ до $185,4 \cdot 10^{-15} \text{ m}^2$. Проницаемостта в хоризонтално направление е значително по-добра от тази във вертикално. Съставът на газа от находището е показан в табл. 1. Българевският залеж е въведен в експлоатация през 1966 г., като до 2005 г. се разработва с относително ниски темпове на разработка. Интензивната разработка на залежа започва през последните години, когато се газифицира град Каварна. В табл.2 са дадени обобщени данни за изменението на пластовото налягане и сумарното количество добит газ от находището в % от началното пластово налягане и от началните утвърдени запаси на място.

Таблица 1

компоненти	Химичен състав на газа			
	молекулна маса , kg/kmol	обемни %	Ркр, МПа	Ткр, К
метан	16,04	98,329	4,6	190,6
етан	30,07	0,203	4,9	305,4
пропан	44,09	0,003	4,2	369,8
изо-бутан	58,12	0,003	3,6	408,1
н-бутан	58,12	0,001	3,8	425,2
и- пентан	72,15	0,001	3,4	460,4
н- пентан	72,15	0,001	3,4	469,6
CO ₂	44,01	0,411	7,4	304,2
N ₂	28,01	1,049	3,4	126,1

Таблица 2

Година	$\frac{\ddot{P}_{nl}}{Z[\ddot{P}_{nl}]}, \%$	$\Sigma Q, \%$
1961	100,00	0,00
1966	100,000	0,43
1967	98,930	0,96
1969	98,663	1,51
1970	98,128	2,09
1971	97,326	3,03
1978	93,583	6,24
2004	80,214	20,78
2005	77,540	23,59

2. Първоначална хипотеза за режима на залежа

Българевският газов залеж се характеризира с блоков строеж. Ограничеността му от запад, изток и север, обусловена от наличието на тектонски нарушения, дава основание да се предполага, че залежът е изолиран (не се подхранва от напорни води), (Минчева Р.1968). В подкрепа на това предположение е високата минерализация на пластовата олигоценска вода в сондаж К-11- 33,6-37,5 g/dm³, докато минерализацията на пластовата вода от валанжския хоризонт е около 5 g/dm³, което е признак за застоен режим на олигоценските води. За отсъствие на хидродинамична връзка между отделните блокове по пясъчниковия хоризонт на олигоценска може да се съди по различните пиезометрични нива на сондажите от отделните тектонски блокове (от +1,6 m до +21,3m). Не е установено движение на пластовата вода в пясъкливия хоризонт на олигоценска, което е предпоставка, че водогазовият контакт е хоризонтален. В резултат на тези геоложки предпоставки е направено допускане за възможен газов режим на залежа. Към този момент от време са оценени чрез обемен метод и запасите от газ на място, които в настоящата статия са приети за 100 %.

3. Потвърждаване на хипотезата за газов режим на залежа

Представлява интерес да се оцени как тази хипотеза се потвърждава във времето. За целта по данни от табл. 3 към определени моменти от време са построени

зависимости $\frac{\ddot{P}_{nl}}{Z[\ddot{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$.

Те са показани на фиг.2, фиг.3 и фиг.4. Получени са съответно при добива на 2,1%, 6,2% и 23 % от утвърдените запаси от газ на място.

От фиг. 2- фиг.4 се вижда, че и трите зависимости имат праволинеен характер, което се потвърждава от направения корелационен анализ. Изведената

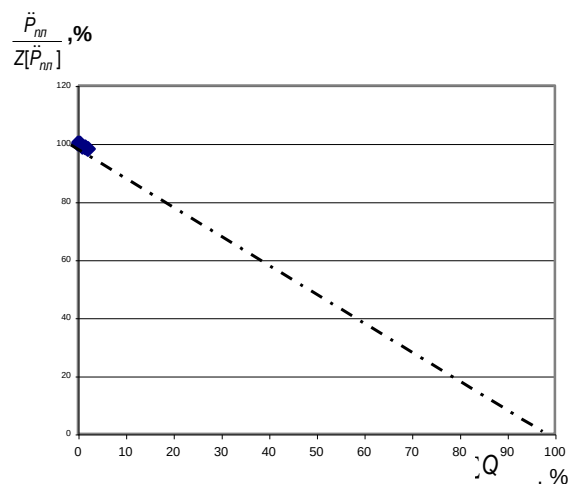
корелационна зависимост на $\frac{\ddot{P}_{nl}}{Z[\ddot{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$ на фиг. 4 е

уравнение на права с коефициент на корелация 0,9992. Получената от уравнението оценка на запасите от газ е равна на 104,6 % от утвърдените запаси на място. От фиг.

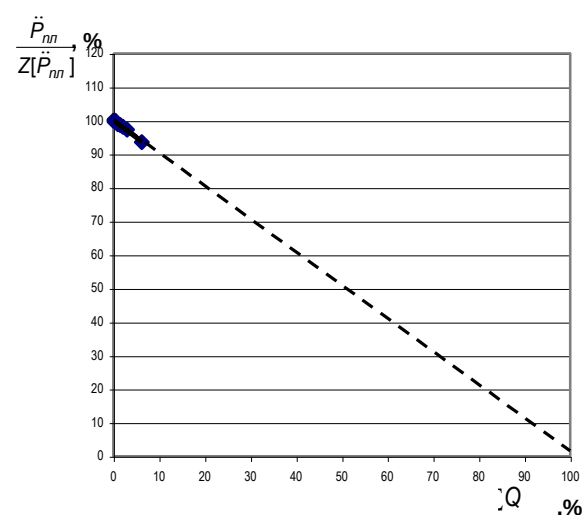
2 се вижда, че същата оценка може да бъде направена, още при сумарен добив на газ равен на 6,2 % от началните запаси. Праволинейният характер на зависимостта

$\frac{\ddot{P}_{nl}}{Z[\ddot{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$ на фиг. 4. показва, че режимът на

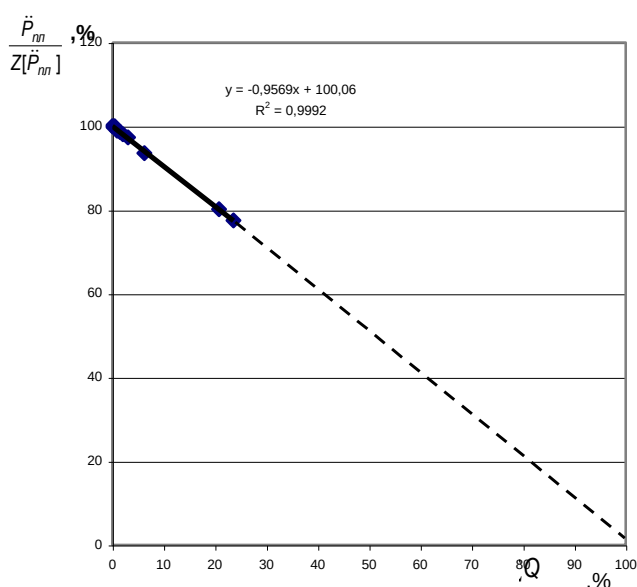
находището е газов. Не се наблюдава компенсиране на пластовото налягане от евентуален приток на пластова вода при текущите условия на експлоатация. Това се потвърждава от факта, че към настоящия момент, добиваната заедно с газа вода е ниско минерализирана и няма други признаци за оводняване на сондажите.



Фиг. 2. Зависимост на $\frac{\ddot{P}_{nl}}{Z[\ddot{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$ при 2,1 % сумарен добив на газ



Фиг. 3. Зависимост на $\frac{\ddot{P}_{nl}}{Z[\ddot{P}_{nl}]} = f(\Sigma Q)$ при 6,2 % сумарен добив на газ



Фиг. 4. Зависимост на $\frac{\ddot{P}_{пл}}{Z[\ddot{P}_{пл}]} = f(\sum Q)$ при 23,59 % сумарен добив на газ

V. Изводи

От направения анализ на методите за определяне режима на газови находища в началния етап на разработка и извършената оценка на режима на газовия залеж Българево може да се направят следните изводи:

1. В началния период на разработка е изключително трудно да се определи действителния режим на газовия залеж. За това е необходимо по данни геоложкия и хидродинамичния модели на залежа да се разработи приоритетна хипотеза за режима, която периодично следва да бъде изследвана. В тази връзка нараства изключително ролята на 3-D сеизмичните изследвания за създаване на адекватен геоложки модел на залежа.

2. Приетата по геоложки данни хипотеза за възможен газов режим на газовия залеж Българево с увереност може да се потвърди при сумарен добив на 6,2 % от утвърдените на място запаси.

3. Към настоящия момент, когато от залежа са добити 24 % от утвърдените запаси, режимът на залежа продължава да е еластично газов.

4. Информацията от поведението на пиезометричните сондажи, както и отсъствието на висока минерализация в добиваната пластова вода дават основание да се допусне, че този режим ще се запази до края на разработката на залежа. По-категорична оценка може да се направи след провеждане на 3-D сеизмични и сондажно-геофизични изследвания.

Литература

- Закиров, С.Н. 1998. *Разработка газовых, газоконденсатных и нефте-газоконденсатных месторождений*. М., Струна.
- Аметов, И. М, К. Басниев. 1981. Влияние неравновесных процессов на формирование режимов газоносных пластов. М. – Газовая промышленность, 12.
- Герев, Л. 1987. *Разработване на нефтени и газови находища*. С., Техника.
- Коротаев, Ю. П, Л. Г. Герев, С. Н. Закиров. 1979. *Фiltrация газов в трещиноватых коллекторах*. М., Недра.
- Минчева, Р и др. 1968. *Технологична схема на разработване на находище Българево*. София, фонд "НИИНН".
- Рассохин, Г. В., И. А. Леонтьев. 1979. *Контроль за разработкой газовых и газоконденсатных месторождений*. М., Недра.
- Тер-Саркисов Р.М. 1999. *Разработка месторождений природных газов*. М.,Недра.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Сондиране и добив на нефт и газ", ГПФ

ПОДХОД И АЛГОРИТЪМ ЗА ЦИФРОВО КОДИРАНЕ НА ГЕОЛОЖКА ИНФОРМАЦИЯ

Стефан Димовски

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

РЕЗЮМЕ. Картографските геоложки материали (плотно проявление на различни формации, на разломи и други елементи на геоложкия строеж) обикновено предполагат кодиране в бинарен вид (например елементарна клетка от картата за съответния мащаб се кодира с "1" когато конкретният признак се проявява, а когато отсъства – с "0"). Този начин на кодиране на геоложката информация не позволява пълноценно да се изследват сложните пространствени връзки между изучавани геолого-геофизични признаци.

За осигуряване на възможности за реализиране на изчислителни операции с използване на картографска геоложка информация е съставена компютърна програма за числено кодиране на картографските признаци. Тя се основава върху възможността всяка елементарна клетка от картата да се дефинира с конкретно разстояние $R_{\min}$ спрямо контакти на разпределение на конкретен признак. Ако S е площта, в която признакът присъства, количествената оценка за положението на елементарната площ спрямо разпространението на признака се определя чрез разстояние "+ $R_{\min}$ " от най-близкия вътрешен контакт (елементарната клетка се разполага в площта S) или чрез разстояние "- $R_{\min}$ " от най-близкия външен контакт (елементарната клетка се разполага извън площта S). По този начин след допълнителна обработка чрез съставения програмен модул, бинарно кодираната геоложка информация се представя чрез набор от разстояния (числа), които се приемат за количествена оценка (двумерна) на положението на конкретния геоложки признак.

APPROACH AND ALGORITHM FOR NUMERICAL CODING OF GEOLOGICAL INFORMATION

Stefan Dimovski

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

ABSTRACT. The cartographic geological data (surface spread of different formations, of faults, and of other elements of geological structure) are normally coded in a binary mode (for example an elementary cell of the map is coded with "1" when the specific geological attribute is present and with "0" when it is absent). When the geological information is coded in such a way it is not possible to analyze in detail the complex interrelations between the studied geological-geophysical characteristics.

A computer program is developed for numerical coding of cartographic attributes. The program makes possible the application of computational operations over these cartographic attributes. It is based on the possibility to define each elementary cell of the map by the precise distance $R_{\min}$ towards the border of the area of surface spread of the specific geological attribute. If S is the zone where the attribute is present then as a quantitative esteem for the pixel position in respect to the geological attribute spread is accepted the distance "+ $R_{\min}$ " towards the nearest interior border (the pixel is inside the zone S), or the distance "- $R_{\min}$ " towards the nearest external border (the pixel is outside the zone S). In such a way, after the application of the developed computer program, binary coded geological information is represented in a numeric mode and one can obtain a quantitative assessment of the distribution (2-D) of the studied geological attribute.

Въведение

Картографските геоложки и други материали представят плотно проявление на различни признаци. Това са например геоложки формации, разломи и други елементи на геоложкия строеж. Така представената информация обикновено предполагат кодиране в бинарен вид (например където конкретният признак се проявява елементарна клетка от картата за съответния мащаб се кодира с "1", а където отсъства – с "0"). Този начин на кодиране на картографските признаци не позволява пълноценно да се изследват сложните пространствени връзки между изучавани геолого-геофизични и други признаци.

За осигуряване на възможности за реализиране на изчислителни операции с използване на картографска геоложка и друга информация е целесъобразно числено кодиране на признаците (факторите).

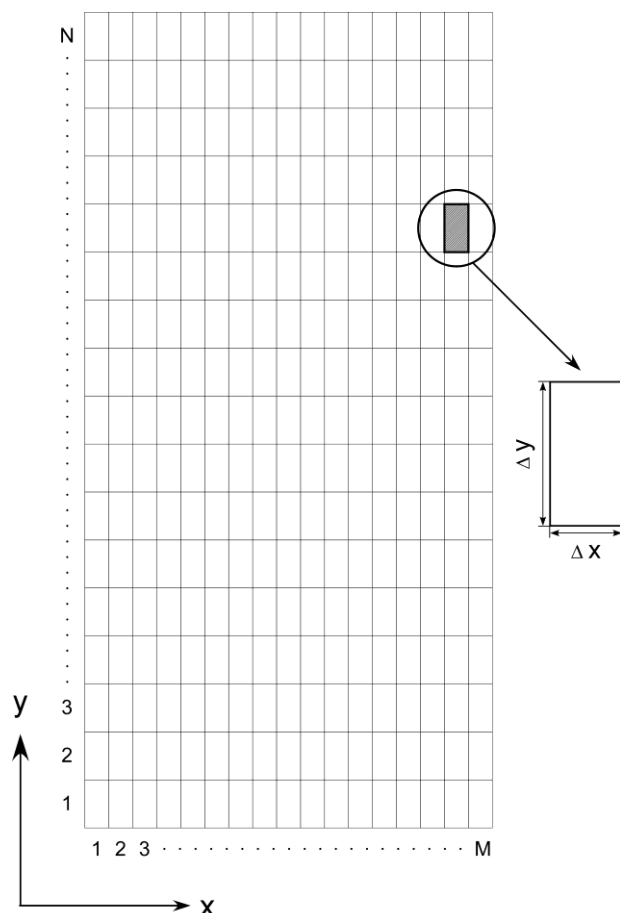
Алгоритъм за числено кодиране на картографски признаци

Подходът и разработеният алгоритъм за числено кодиране се основават върху възможността всяка елементарна клетка от картата да се дефинира с определено разстояние R спрямо контакта на разпространение на конкретен "картографски признак" ("картографски фактор"), например определена геоложка формация, която участва в легендата на картата като самостоятелна единица.

Първата стъпка към числено кодиране на картографски признаци е представянето на площта чрез съвкупност от елементарни площи (елементарни клетки, пиксели) – фиг. 1.

За целта изследваната територия се покрива с мрежа, която се състои от $M \times N$ на брой елементарни площи, където:

M е броят на колоните (броят пиксели по оста X);
 N е броят на редовете (броят пиксели по оста Y).



Фиг. 1. Примерно представяне на изследвана територия чрез мрежа от $M \times N$ на брой елементарни площи

Всяка елементарна площ е с една и съща произволна правоъгълна форма (ширина Δx и височина Δy) в зависимост от мащаба на картата (планшета). Например, ако се изследва територия (планшет) с размери 36×32 km и за елементарна площ се приеме клетка с размер 1×1 km, мрежата ще съдържа 1152 елементарни клетки, които се разполагат в 36 реда (дискретизация по Y) и 32 колони (дискретизация по X) – фиг. 2.

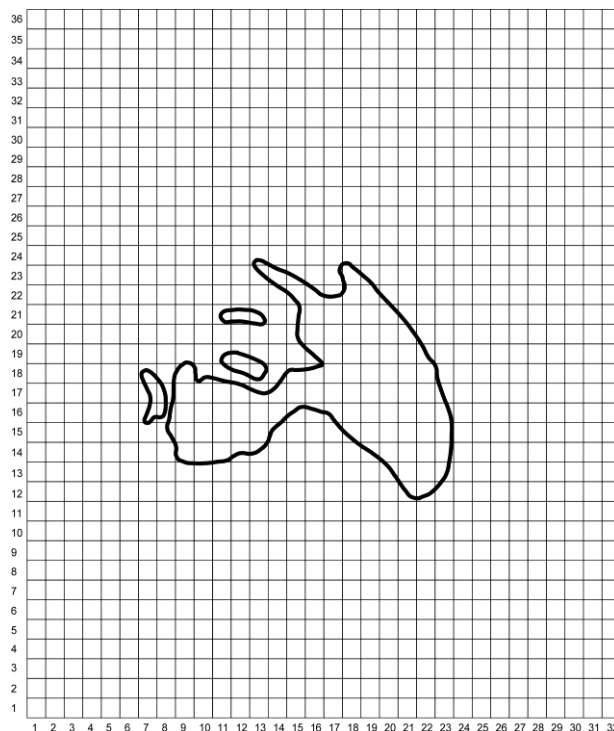
В обхвата на планшета се разполага конкретен признак (окоутурен с плътна линия), който е обект на изследване (в случая – зона на пропилация и площна хидротермална промяна). При бинарно кодиране се диференцират елементарните площи, които се разполагат вътре в обекта (например с "1") и елементарните площи извън обекта (например с "0") – фиг. 3.

В разработения алгоритъм и съставената компютърна програма се реализира числено кодиране, което се базира върху определяне на минималното разстояние, на което отстои всеки пиксел от границата на бинарно кодирания обект.

За целта местоположението на всяка елементарна площ се описва от нейната двойка координати (i_p, j_p) – фиг. 4, където:

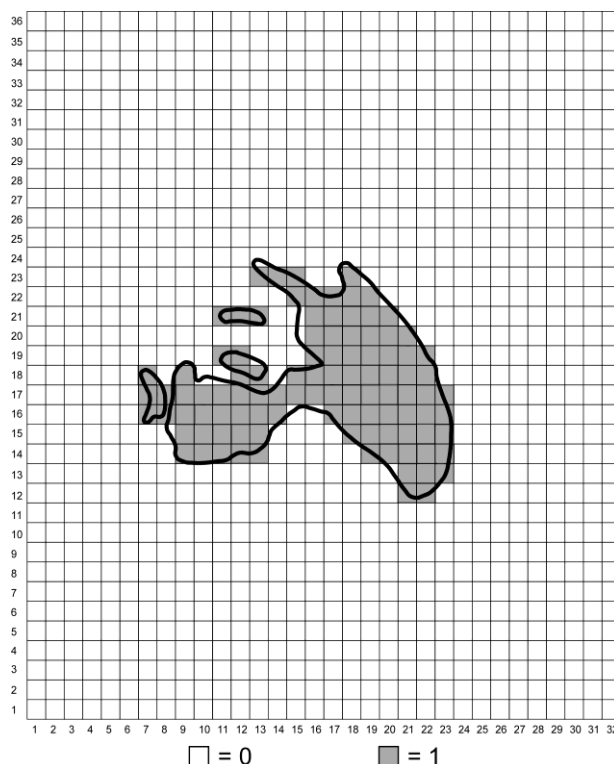
i_p е колоната, в която е разположен пиксела (координатата по оста X);

j_p е реда, в който е разположен пиксела (координатата по оста Y).



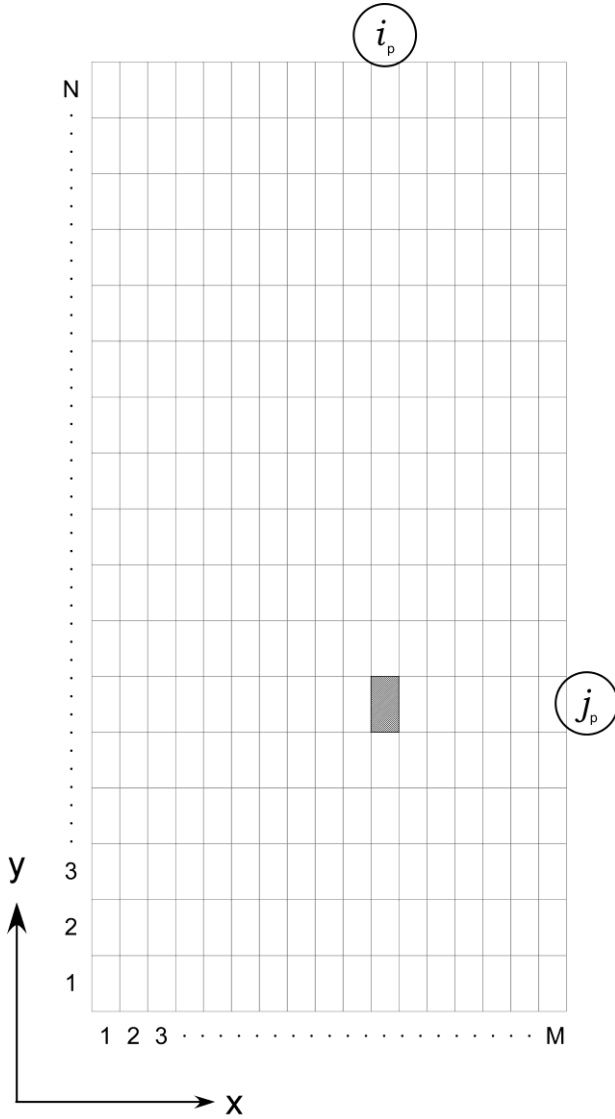
Фиг. 2. Примерна изследвана площ от 1152 km^2 с присъствие в нея на зона на пропилация и хидротермална промяна (окоутурена с плътна линия).

Площта е покрита с мрежа от пиксели с размер $\Delta x = \Delta y = 1 \text{ km}$



Фиг. 3. Бинарно кодиране на пикселите за примерната изследвана площ с присъствие в нея на зона на пропилация и хидротермална промяна (окоутурена с плътна линия)

Следователно i_p и j_p са цели числа, които имат следните възможни стойности: $i_p = 1, 2, 3, \dots, M$ и $j_p = 1, 2, 3, \dots, N$



Фиг. 4. Илюстрация на представянето на пикселите за целите на численото кодиране.

Като първа стъпка на разработения алгоритъм, съставената програма определя минималните разстояния, на които отстоят една от друга всички възможни двойки елементарни площи.

Изхожда се от предпоставката, че минималното разстояние между два пиксела (i_0, j_0) и (i_1, j_1) е функция на разликата в техните координати:

$$\begin{aligned} m &= \text{Abs}(i_1 - i_0) \\ n &= \text{Abs}(j_1 - j_0) \end{aligned} \quad (1)$$

За разликата в координатите на всеки два пиксела (i_0, j_0) и (i_1, j_1) са възможни следните стойности:

$$\begin{aligned} m &= \text{Abs}(i_1 - i_0) \rightarrow 0, 1, \dots, (M - 1) \\ n &= \text{Abs}(j_1 - j_0) \rightarrow 0, 1, \dots, (N - 1) \end{aligned} \quad (2)$$

За дадена елементарна площ с текущи координати (i_0, j_0) съществуват три възможни разположения на пиксела с координати (i_1, j_1) спрямо който се определя отстоянието:

$$i_0 \neq i_1 \text{ и } j_0 \neq j_1 \quad (3)$$

$$i_0 \neq i_1 \text{ и } j_0 = j_1 \quad (4)$$

$$i_0 = i_1 \text{ и } j_0 \neq j_1 \quad (5)$$

За всеки от тези три възможни варианта подходът към определяне на разстоянието между двойката пиксели е различен.

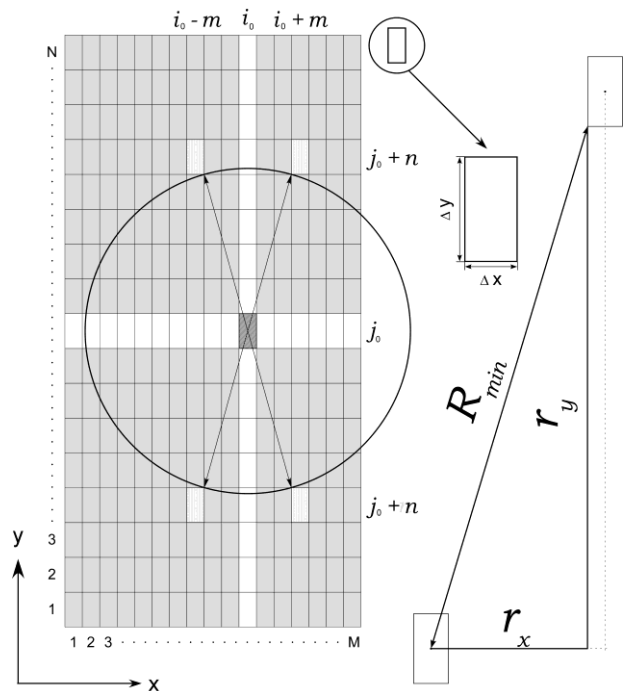
В първия случай – варианта когато $i_0 \neq i_1$ и $j_0 \neq j_1$ разстоянието между двете елементарни площи се определя от отсечката, свързваща центъра на текущия пиксел (i_0, j_0) с близкия ъгъл на пиксела (i_1, j_1) – фиг. 5 :

$$R_{\min} = \text{Sqrt}(r_x^2 + r_y^2) = \sqrt{(r_x^2 + r_y^2)} \quad (6)$$

$$r_x = m \cdot \Delta x - \frac{\Delta x}{2} = (m - 0,5) \cdot \Delta x \quad (7)$$

$$r_y = n \cdot \Delta y - \frac{\Delta y}{2} = (n - 0,5) \cdot \Delta y \quad (8)$$

При определена двойка от стойности за m и n , съществуват четири възможни разположения на елементарната площ (i_1, j_1) , като разстоянието до центъра на текущия пиксел (i_0, j_0) е едно и също.

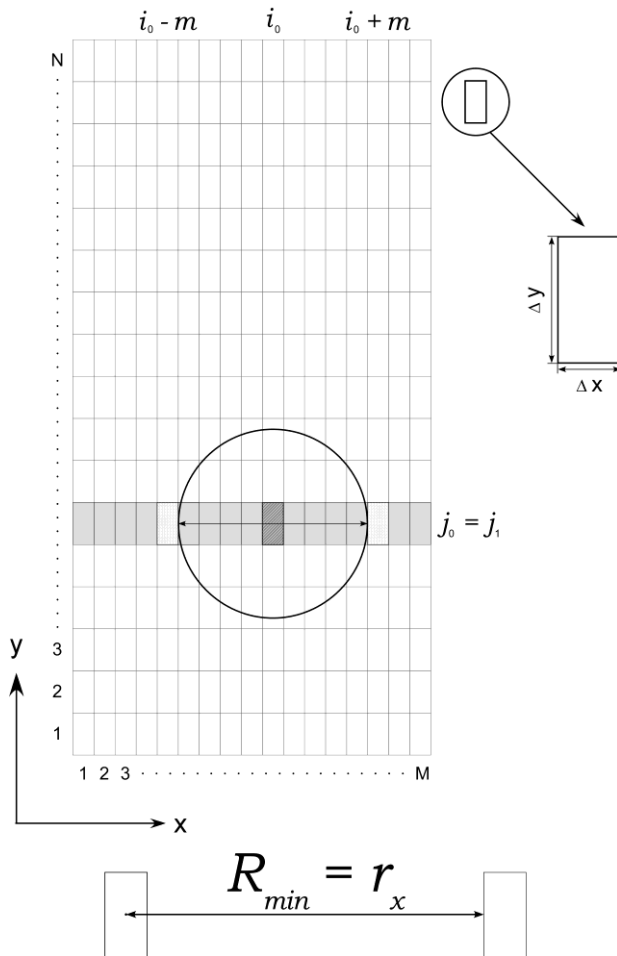


Фиг. 5. Илюстрация на определянето на разстоянието $R_{\min}$ (числен код) за двойка пиксели, за които $i_0 \neq i_1$ и $j_0 \neq j_1$

В случая когато $i_0 \neq i_1$ и $j_0 = j_1$ разстоянието между двете елементарни площи се определя от отсечката, свързваща центъра на текущия пиксел (i_0, j_0) със средата на близката страна на пиксела (i_1, j_1) – фиг. 6:

$$R_{\min} = r_x \quad (9)$$

$$r_x = m \cdot \Delta x - \frac{\Delta x}{2} = (m - 0,5) \Delta x \quad (10)$$



Фиг. 6. Илюстрация на определянето на разстоянието $R_{\min}$ (числен код) за двойка пиксели, за които $i_0 \neq i_1$ и $j_0 = j_1$

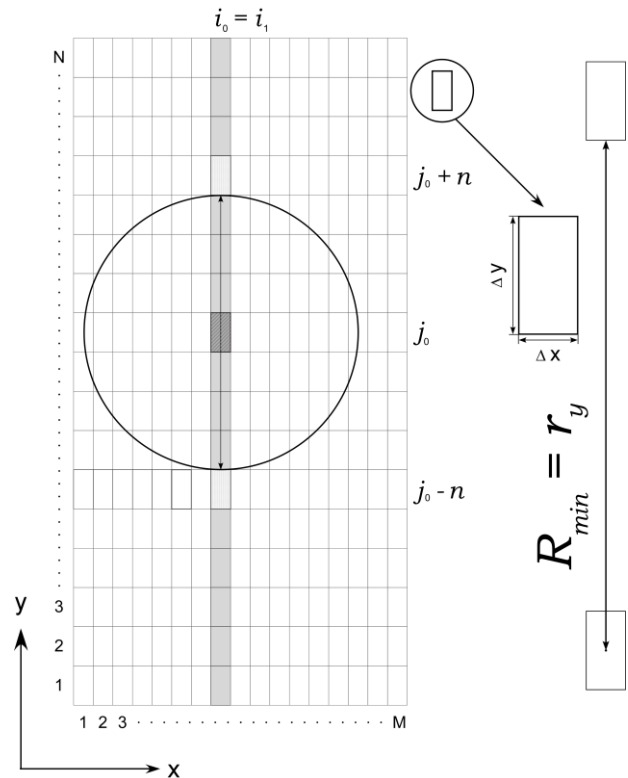
Стойността за n в този случай е $n = 0$ като при всяка определена стойност за m съществуват две възможни разположения на елементарната площ (i_1, j_1) , като разстоянието до центъра на текущия пиксел (i_0, j_0) е едно и също.

При варианта когато $i_0 = i_1$ и $j_0 \neq j_1$ разстоянието между двете елементарни площи отново се определя от отсечката, свързваща центъра на текущия пиксел (i_0, j_0) със средата на близката страна на пиксела (i_1, j_1) – Фиг. 7:

$$R_{\min} = r_y \quad (11)$$

$$r_y = n \cdot \Delta y - \frac{\Delta y}{2} = (n - 0,5) \Delta y \quad (12)$$

Стойността за m в този случай е $m = 0$ като при всяка определена стойност за n съществуват две възможни разположения на елементарната площ (i_1, j_1) , като разстоянието до центъра на текущия пиксел (i_0, j_0) е едно и също.



Фиг. 7. Илюстрация на определянето на разстоянието $R_{\min}$ (числен код) за двойка пиксели, за които $i_0 = i_1$ и $j_0 \neq j_1$

Компютърна програма за реализиране на разработения алгоритъм за числено кодиране

Приложението на разработения алгоритъм за числено кодиране на картографски признаци се реализира чрез специално разработена компютърна програма, която съдържа три базови модула.

Първият модул на програмата изчислява по формули (6), (10) и (12) минималните разстояния $R_{\min}$, на които отстоят една от друга всички възможни двойки елементарни площи. Това се прави за всички наредени двойки (m, n) с изключение на двойката $(0, 0)$.

Вторият модул на програмата сортира наредените тройки $(m, n, R_{\min})$ по нарастване на $R_{\min}$.

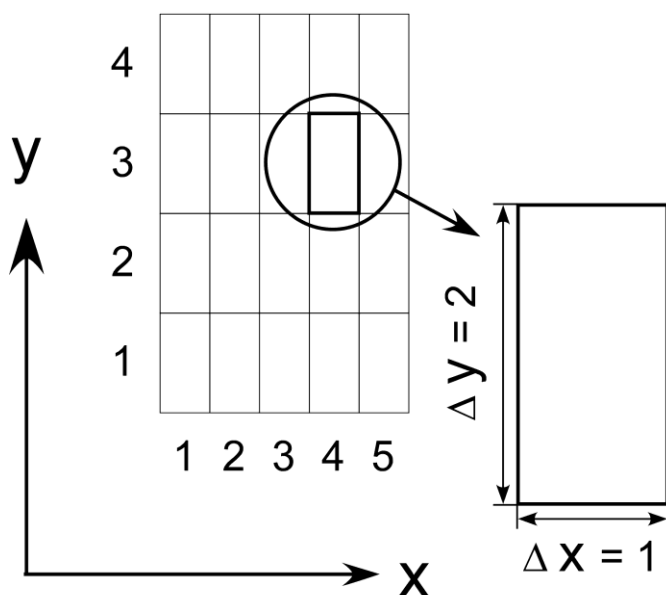
Например, ако дадената мрежа, покриваща територията на изследване, се състои от 5×4 на брой елементарни площи ($M = 5, N = 4$), като всеки пиксел е с една и съща правоъгълна форма (ширина $\Delta x = 1$ и височина $\Delta y = 2$) – Фиг. 8, то сортираните наредените тройки $(m, n, R_{\min})$ по нарастване на $R_{\min}$ имат вид, представен в таблицата, приложена към Фигура 8.

Третият модул на програмата определя минималното разстояние, на което отстои всеки пиксел от границата на бинарно кодираната зона.

Разглежда се всяка елементарна площ от мрежата. Определя се разстоянието, съответно “+ $R_{\min}$ ” или “- $R_{\min}$ ” до най-близкия пиксел, кодиран разностранно спрямо

анализирания. Знакът за R_{min} е “+” ако текущата елементарна площ е в обхвата на зоната на бинарно кодирувания геоложки признак. Респективно, този знак е “-”

ако анализируваният пиксел е извън обхвата на бинарно кодирувания геоложки признак – фиг. 9.

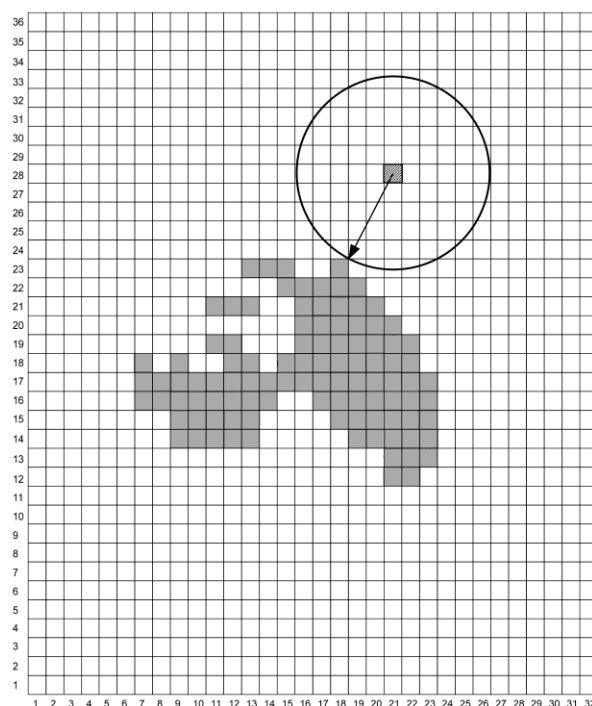
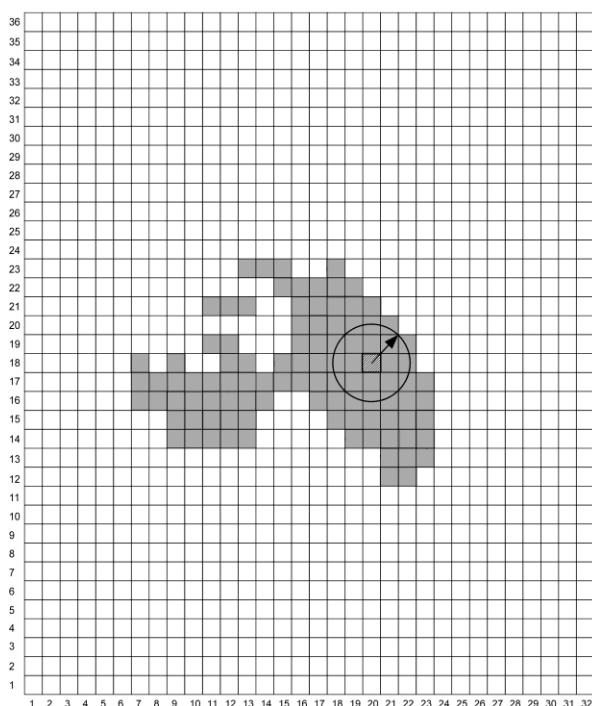


m	n	R min
1	0	0.50000
0	1	1.00000
1	1	1.11803
2	0	1.50000
2	1	1.80278
3	0	2.50000
3	1	2.69258
0	2	3.00000
1	2	3.04138
2	2	3.35410
4	0	3.50000
4	1	3.64005
3	2	3.90512
4	2	4.60977
0	3	5.00000
1	3	5.02494
2	3	5.22015
3	3	5.59017
4	3	6.10328

Фиг. 8. Примерно илюстриране на втория модул на съставената програма – за мрежа от 5×4 на брой елементарни площи ($M = 5, N = 4$) и всеки пиксел с правоъгълна форма (ширина $\Delta x = 1$ и височина $\Delta y = 2$). Приложена е таблица на сортираните по нарастване на R_{min} наредени тройки от стойности (m, n, R_{min})

“+ R_{min} ”

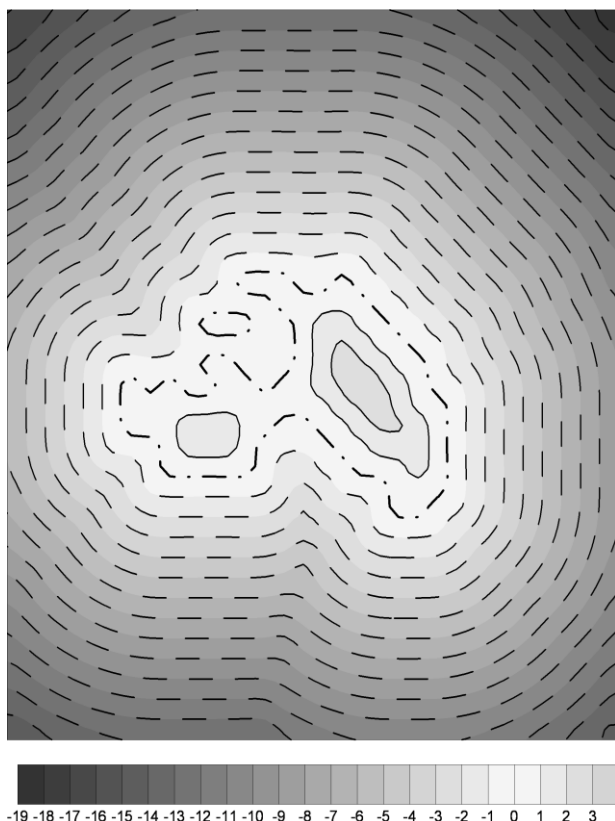
“- R_{min} ”



Фиг. 9. Илюстриране на определянето на разстоянията “+ R_{min} ” и “- R_{min} ” за две текущи елементарни площи – съответно вътрешна и външна спрямо бинарно кодираната изследвана площ с присъствие в нея на зона на пропилизация и хидротермална промяна (фиг. 2)

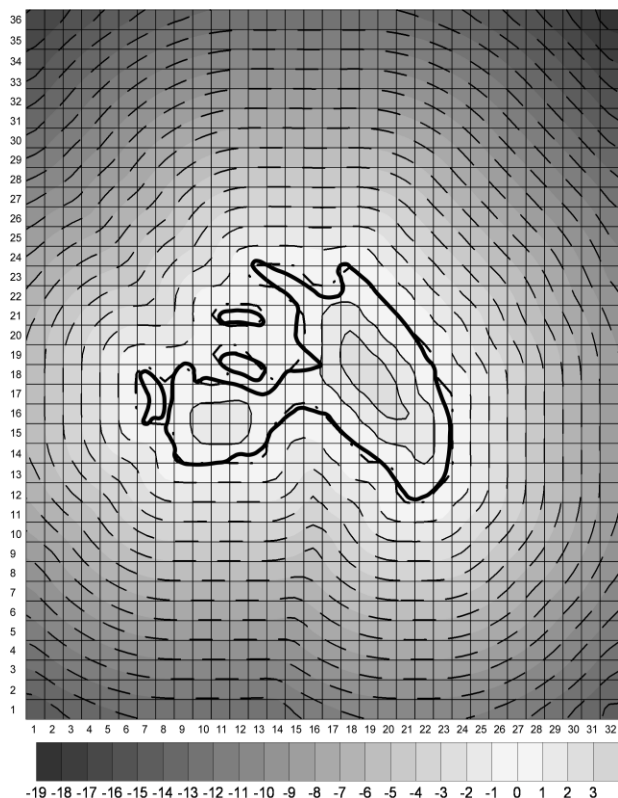
Приложението на разработения алгоритъм и съставената програма могат да се илюстрират от резултатите, получени за планшета със зона на пропилизация и площна хидротермална промяна (фиг. 2),

кодиран бинарно (фиг. 3). Картата с резултатите от численото кодиране е представена на фиг. 10. Изходните данни съдържат информация, подготвена за реализиране на разновариантни изчислителни операции.



Фиг. 10. Карта с резултатите от численото кодиране на планшета със зона на пропилизация и площна хидротермална промяна (фиг. 2), кодиран бинарно (фиг. 3)

Получените резултати добре се обвързват с реалното разпространение на числено кодираната зона – фиг. 11.



Фиг. 11. Илюстриране на съответствието между резултатите от численото кодиране на планшета (фиг. 10) и зоната на пропилизация и площна хидротермална промяна (фиг. 2)

Заклучение

Представянето на геоложките и някои други видове данни е главно във вид на различни по съдържание и оформление карти. Традиционните карти са един от най-добрите начини за предаване и получаване на информация. Едновременно с това картите не могат да се използват директно за различен вид обработка и компютърен анализ. Това изисква те да бъдат представяни в модифициран вид, удобен за реализиране на разновариантни изчислителни операции.

Разработен е алгоритъм и е съставена компютърна програма за числено кодиране на картографска информация, която се разглежда като комплексно представяне на различни признаци.

За целите на кодирането изследваната територия се покрива с правоъгълна мрежа, която представлява множество от еднакви елементарни площи (елементарни клетки, пиксели).

Приложеният подход към разработения алгоритъм и съставената компютърна програма за числено кодиране се основават върху възможността всяка елементарна клетка от картата да се дефинира с определено разстояние "+Rmin" или "-Rmin" спрямо границите на разпространение на конкретен "картографски признак".

Съставената компютърна програма съдържа три базови модула. Първият модул на програмата изчислява минималните разстояния Rmin, на които отстоят една от друга всички възможни двойки елементарни площи, вторият модул сортира наредените тройки (m , n , Rmin) по нарастване на Rmin, а третият модул определя минималното разстояние, на което отстои всеки пиксел от границата на бинарно кодираната зона.

Целесъобразно е съставената компютърна програма да се включва към всяка система, предназначена за изследване на пространствените връзки между изучавани геолого-геофизични и други признаци.

Литература

- Добрев, Т., В. Иванова, Р. Радков. 1989. *Комплексиране при геофизичните проучвания*. С., Техника, 219 с.
- Комплексиране методов разведочной геофизики. 1984. *Справочник геофизика*. М., Недра, 385 с.
- Димовски, С., Р. Радичев, Г. Зашев. 2006. Площна корелация между разломната тектоника и данните от аерогамаспектрометрията за района на Асарел – Централно Средногорие. – *Сборник "Национална конференция с международно участие ГЕОНАУКИ 2006"*, 414-417.
- Марченко, В. В., Н. В. Межеловсий, З. А. Немировский, А. А. Сапунков, Б. А. Чумаченко. 1990. *Компьютерный прогноз месторождений полезных ископаемых*. М., Недра, 285 с.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ

ПЪРВИ ГРАВИМЕТРИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В РАЙОНА НА БЪЛГАРСКАТА АНТАРКТИЧЕСКА БАЗА НА О-В ЛИВИНГСТОН

Н. Кръстев², П. Ставрев¹, Р. Радичев¹, В. Станчев³, Д. Димов⁴, Д. Йорданова³, В. Гурев³

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700

²Милвекс ООД

³Софийски университет "Св. Кл. Охридски", Физически факултет

⁴Софийски университет "Св. Кл. Охридски", Геолого-географски факултет

РЕЗЮМЕ. В изпълнение на програмата за изследване на дълбочинния геоложки строеж на о-в Ливингстон с геофизични методи се извършиха първи гравитационни измервания по време на XIV-та Антарктическа експедиция, 2005 – 2006 г. Построена бе опорна гравиметрична мрежа, състояща се от Базова гравиметрична точка при Българската Антарктическа База (БАБ) и три отдалечени опорни точки. На тази основа се извърши измерване на два гравиметрични профила между връх Крумов камък и БАБ, и над плутона Хесперидес. Обработката на данните разкри проявата на Буге аномалии с амплитуда до 5 mGal на терен от 1 km² при денивелации над 200 m. Създадената опорна мрежа, направената рекогносцировка и придобитият опит в техниката на измерване при трудни теренни и климатични условия създават предпоставки за предприемане на следващи стъпки в гравиметричното изследване на района.

FIRST GRAVIMETRIC INVESTIGATIONS IN THE AREA OF THE BULGARIAN ANTARCTIC BASE AT LIVINGSTON ISLAND

N. Krastev², P. Stavrev¹, R. Radichev¹, V. Stanchev³, D. Dimov⁴, D. Jordanova³, V. Gourev³

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700

²Milvex Ltd., Sofia

³Sofia University "St. Kl. Ohridski", Faculty of Physics

⁴Sofia University "St. Kl. Ohridski", Faculty of Geology and Geography

ABSTRACT. Gravity measurements in the area of the Bulgarian Antarctic Base (BAB) at Livingston Island were first implemented during the XIVth Antarctic Expedition 2005 – 2006. They are part of the program for geophysical exploration of the Island. The Base gravimetric grid was established first. It includes the Base Gravimetric Station near the BAB and three distant supporting stations around. Then, on this base two gravimetric profiles were measured: between the pick of Kroumov Kamak and BAB, and along the outcrop of the Hesperides pluton. The results obtained after a data processing show the existence of Bouguer anomalies of intensity up to 5 mGal in an area of 1 km² on a terrain of height differences up to 200 m. The created Base gravimetric grid, the accomplished profile test measurements and the experience from the gravity data acquisition in the specific terrain and climate situation create preconditions for the next steps in the gravity investigation of the area.

Въведение

Геофизичните изследвания са основна съставна част на научните програми за опознаване на Антарктика. Те обхващат изучаване проявите на физичните полета на Земята като гравитационното, геомагнитното, геоелектричното и геотермичното поле, на сеизмичността на Земята и на естествената радиоактивност, както и на физичните свойства на средата и физико-химичните процеси протичащи във водната, въздушната, йоносферната, магнитосферната и околоземната геосфери. Резултатите от геофизичните изследвания дават незаменима информация както за геофизичните феномени така и за решаването на множество геоложки задачи, за търсене и проучване на минерални и енергийни суровини, за откриване на екообекти и провеждане на екомониторинг, за оценка на опасностите от природни бедствия, за целите на навигацията, за изследване на археоложки и други обекти. По отношение на геоложките

задачи геофизичните методи като дистанционни по своя характер позволяват устано-вяване, проследяване и дълбочинно характеризиране на геоложки структури, недостъпни или трудно достъпни за изучаване с преките геоложки методи в антарктическите условия. Освен пространствени и морфоложки характеристики геофизичните данни съдържат информация за възраст и за процеси засегнали изучаваните обекти в геолошко време, за геодинамиката на изследваните райони и др.

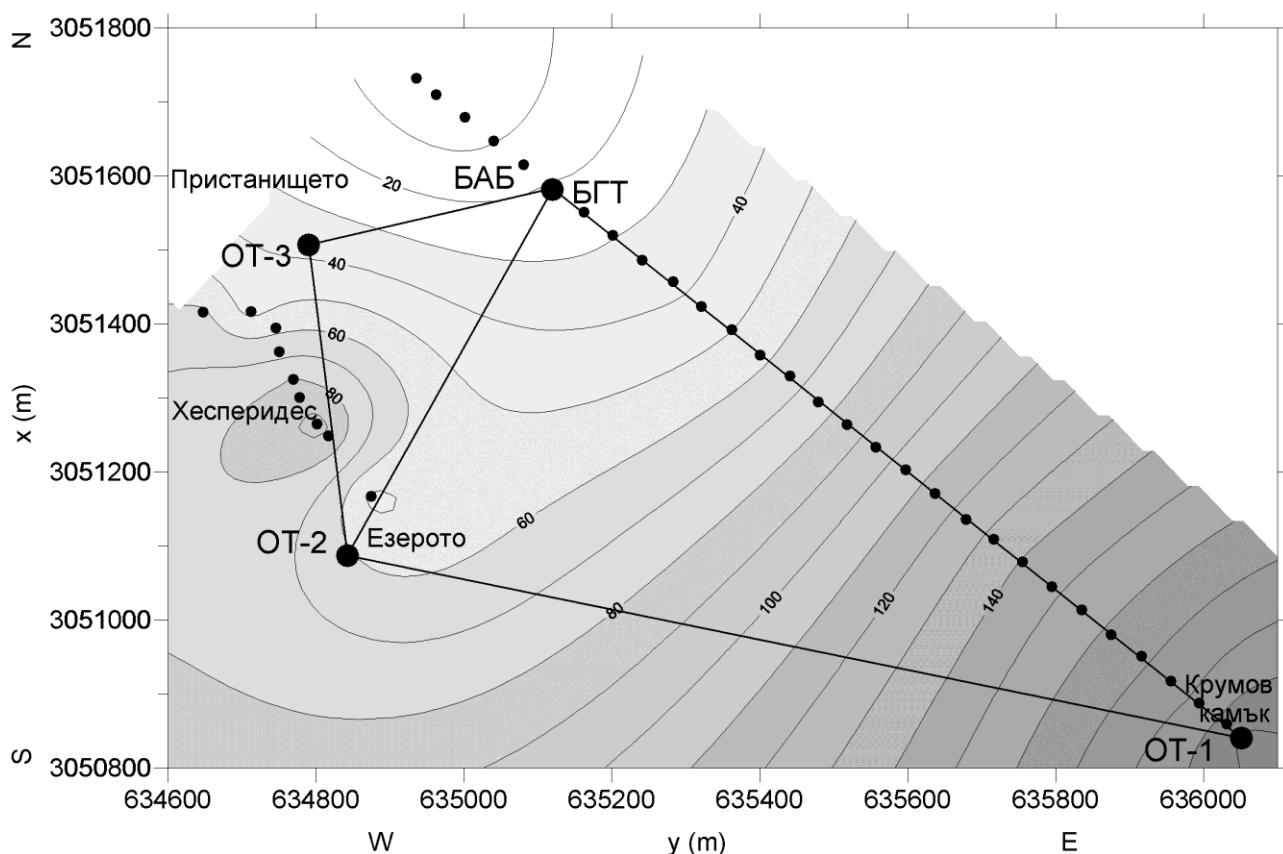
В района на Българската Антарктическата База "Св. Климент Охридски" (БАБ) до 2004 г. са провеждани главно магнитни проучвателни снимки. Първи са измерванията проведени от Д. Димов през 1996-1997 г. на полуостров Хърд (Dimov et al., 1997). На една по-малка площ, но с погъстена мрежа точки е направена и снимка в участъка на ледник "Морски лъв" (Димов и др., 1997). Опитът от тези измервания е използван по-късно през 2002 г. за извършването на детайлна магнитна снимка от Н. Кръстев

и Д. Димов в района около разкритието на интрузивно тяло с габро-диоритов до кварц-диоритов състав, известно като плутон Хесперидес (Кръстев и др., 2005). През 2005 г. в района на БАБ бяха проведени първи площни измервания на вертикалния магнитен градиент (Krastev et al., 2005). В същия район е извършено и електромагнитно профилиране за установяване дебелината на ледената покривка по една линия между БАБ и връх Крумов камък. Сеизмологични наблюдения, изследване на вълни-цунами и на съвременни геодинамични явления са направени от Б. Рангелов с първата българска сезонна сеизмологична станция в района (Рангелов, 2002).

Анализът на проведените геофизични работи около БАБ доказва несъмнено ефективността на геофизичните методи и необходимостта от продължаването им за по-обхватно и детайлно проучване на района. В тази насока са и предприетите стъпки от авторския колектив за въвеждане на гравиметричния метод в практиката на научните изследвания в района. За целта бе създадена опорна гравиметрична мрежа и измерени два гравиметрични профила за получаване на сведения относно характера на гравитационното поле в района и за особеностите на методиката и техниката на измерванията в антарктически условия.

Опорна гравиметрична мрежа в района на БАБ

За извършването на относителни гравитационни измервания в района на БАБ бе развита опорна гравиметрична мрежа, състояща се от два триъгълни полигона с обща страна, всичко 4 гравиметрични точки. Главната базова гравиметрична точка БГТ е установена близо до сградите на БАБ. В нея започват и завършват дневните гравиметрични рейсове. Помощните опорни точки са ОТ-1 Крумов камък, ОТ-2 Езерото и ОТ-3 Пристанището, разположени както указва наименованието им (Фиг. 1). Точка с определена абсолютна стойност на силата на тежестта бе заснета на брега на залива Сали рокс (SRA) със съдействието на колеги от Испанската Антарктическа База "Хуан Карлос I". Всяка страна от полигоните на опорната мрежа бе измерена в три цикъла, а връзката с отдалечената абсолютна точка в два цикъла поради възникналите трудности в транспорта по море. Но сравнително краткото време от 1 час на цикъл позволи да се отчете достатъчно точно часовият ход на гравиметъра.



Фиг. 1. Схема на опорната гравиметрична мрежа БГТ-ОТ1-ОТ2-ОТ3 и профилите (О) БАБ-БГТ-Крумов камък и (Х) по разкритието на плутон Хесперидес. Изолинии на интерполирани височини на терена по котите на измервателните точки

В резултат на извършените измервания с гравиметър ГНУ-КБ е установена относителната стойност на интензитета на силата на тежестта в абсолютната и в опорните точки спрямо БГТ. Получени са следните стойности:

ОТ-1: - 41.39 mGal; ОТ-2: - 2.20 mGal;

ОТ-3: + 3.72 mGal; SRA: + 1.34 mGal,

със средна квадратична грешка след изравняване на нарастванията по страните на полигоните ± 0.24 mGal. Опорната мрежа послужи за проследяване на часовия ход

на гравиметъра в отдалечени от БАБ редови измервателни точки.

Измерване и обработка на гравиметричните профили

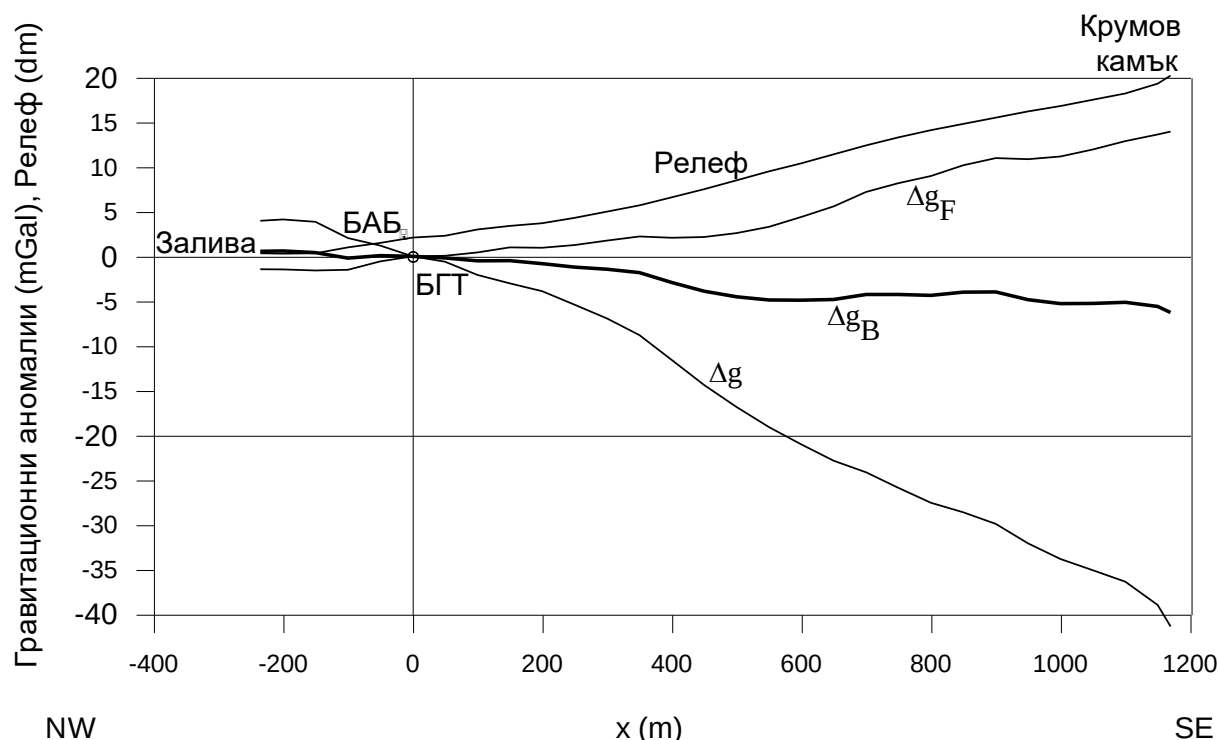
Измерени са два рекогносцировъчни профила. Първият започва от брега на морето, през БАБ и БГТ до ОТ-1 Крумов камък с дължина 1350 m (фиг. 1 и 2). Профилът има 30 измервателни точки през 50 m. Линията на втория профил върви приблизително по билото на разкрития плутон Хесперидес и има дължина 400 m с 9 измервателни точки през 30 до 50 m (фиг. 1 и 3).

Организацията на работа и климатичните условия при БАБ наложиха измерванията да се проведат в къси дневни рейсове с опорни измервания през интервал до 90 минути. Във всяка точка се извършваха над три независими измервания до установяване на последователни отчети с разлика в границите на една стотна от делението. Дневният рейс включваше повторни контролни измервания в редовите точки на профилите. Общият брой повторни измервания е 93 на 39 редови точки, или средно 2.5 повторения на гравиметрична точка, при норма средно 0.1 повторения. Така при трудните условия на Антарктика бе осигурена по-голяма надеждност на данните.

Точността на измерванията, оценена по средната квадратична грешка е ± 0.25 mGal, което съответства на средномасщабни измервания при наземни снимки в нормални условия с използвания гравиметър.

Хоризонталните координати на всяка точка от опорната мрежа и от двата профила са определени посредством GPS – модел “eTrex Vista C, GARMIN” с допустима грешка до първите метри. Измерванията за котите на точките бяха извършени посредством теодолит модел DELTA 010 и електронен далекомер АЕМ 1200 със стандарт на грешката не по-голям от ± 0.05 m.

Резултатите за координатите на измервателните точки и измерените нараствания на интензитета на силата на тежестта по двата профила са дадени графично на фиг. 1, 2 и 3. Аномалните стойности на полето са изчислявани относно БГТ. Дадени са относителните стойности на аномалиите в свободен въздух Δg_F и в редукция Буге Δg_B при стандартната плътност на междинния слой 2.67 g/cm³. Абсолютните стойности на аномалиите се отличават с константа от показаните за малката дължина на профила. Корекция за релеф в Буге аномалиите не е въвеждана поради ограничените възможности за ползване на подробни топографски данни. Но за сравнително късите профили тази корекция има близки стойности за отделните точки.



Фиг. 2. Гравиметричен профил (0) БАБ-БГТ-ОТ1 Крумов камък с кривите на измерените нараствания на гравитационния интензитет Δg и на изчислените Буге аномалии Δg_B и аномалии в свободен въздух Δg_F

Плътност на скалните разновидности

За интерпретацията на гравиметричните данни е необходимо да се разполага с конкретните за района на

БАБ стойности на плътността на скалите. Определянето на плътността е извършено на 211 скални образеца с помощта на денситометъра на Самсонов (Ставрев и др., 2007). Анализът на получените резултати показва следното.

Седиментните скали имат най-ниска плътност – между 2.57 g/cm^3 и 2.73 g/cm^3 , средно 2.63 g/cm^3 . Най-плътни от тях са алевролитите. Дайките са с плътност от 2.58 g/cm^3 до 2.80 g/cm^3 , средно 2.68 g/cm^3 . Ефузивните скали показват по-висока плътност – от 2.73 g/cm^3 до 2.86 g/cm^3 , средно 2.78 g/cm^3 . Диоритите са с широк диапазон на плътността – от 2.62 g/cm^3 до 2.91 g/cm^3 , средно от 2.72 g/cm^3 за гранодиоритите до 2.83 g/cm^3 за разнообразните диорити. Ледовете както е известно имат плътност 0.92 g/cm^3 .

Набелязаната плътностна диференциация е добра предпоставка за ефективно прилагане на гравиметричния метод при изучаване дълбочинните характеристики на магматогенните образувания и картиране на разломните нарушения в района на БАБ.

Анализ на гравиметричните профили

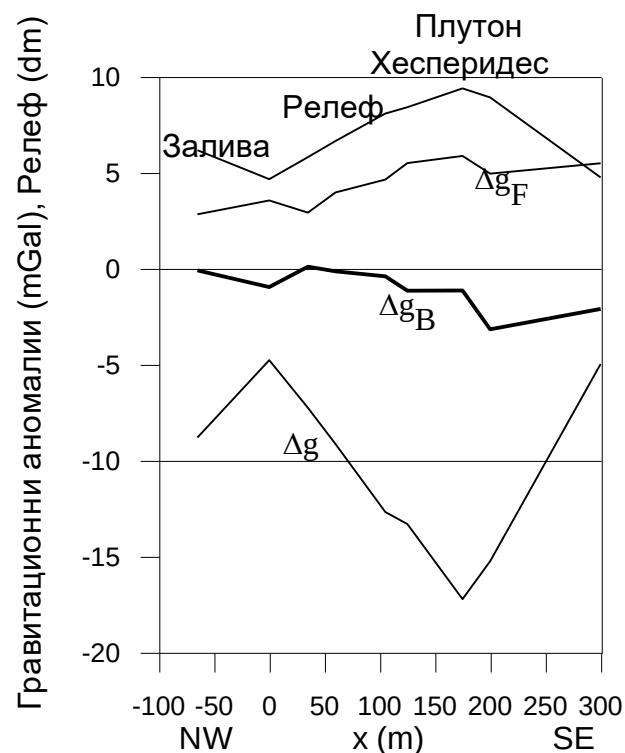
Първият гравиметричен профил с посока СЗ-ЮИ от залива през БАБ и БГТ към връх Крумов камък е представен на фигура 2. Дадени са кривите на измерените действителни разлики в интензитета на силата на тежестта Δg между редовите точки на профила и БГТ, изчислените относителни стойности на аномалиите в свободен въздух Δg_F и в редукция Буге Δg_B спрямо БГТ. Релефът е отчетен по котите на редовите точки. Измененията на установените разлики Δg по профила съответстват на очакваните според измененията на височините на терена. Аномалията в свободен въздух Δg_F следи почти паралелно релефа с отклонения само в средната част на профила, където коренните скали са покрити от леден слой.

Амплитудата на Буге аномалията по профила достига 5 mGal като намалява в ЮИ посока с отдалечаване от залива. Аномалията има вида на гравитационен преход от нивото на БГТ към по-ниското ниво около Крумов камък. При точката с абсциса 400 m може да се очаква субвертикален контакт на скални слоеве с различна плътност, причинен от разлом с пропадане около 50 m в южна посока запълнен от ледове и сняг. Но за по-уверена интерпретация на тази аномалия е необходимо да се направи измерване по няколко паралелни профила или площна снимка в района.

Вторият профил е показан на диаграмата на фиг. 3. Поведението на измерените относителни стойности Δg и на аномалията в свободен въздух Δg_F се съгласува с очакванията за този релеф на профилната линия по дължината на плутоничното тяло. Буге аномалията Δg_B над плутона показва понижени стойности с около 3 mGal в югоизточната част на билото. Този факт може да се тълкува като проява на по-малко плътни скални маси в тази посока или с намаляване на вертикалния размер на плутоничните скали, вероятно гранодиорити с повишени магнитни свойства. Но такова предположение следва да се потвърди с данни от площна гравиметрична снимка с корекция за релеф.

Заклучението от направения анализ е, че извършените измервания дават достоверна информация за характера на гравитационното поле в района. Те отразяват с

указаната точност действителното поведение на гравитационния интензитет. Изчислените аномалии в свободен въздух показват очакваните изменения в права корелация с релефа. Аномалиите Буге имат достатъчно високи амплитуди за да разкрият особеностите в разпределението на плътностните нееднородности свързани с геоложките структури в района на БАБ. Така гравиметричните изследвания могат да се ползват успешно за целите на геоложките проучвания с провеждането на профилни и разширени площни снимки в разкрити и покрити от ледове райони на Антарктика.



Фиг. 3. Гравиметричен профил (0) БАБ-БГТ-ОТ1 Крумов камък с кривите на измерените нараствания на интензитета Δg и на изчислените Буге аномалии Δg_B и аномалии в свободен въздух Δg_F .

Методичен опит от гравиметричните изследвания в района на БАБ

Извършените повече от 200 измервателни действия в точките на опорната мрежа и профилите в района на БАБ дават възможност да се извлече методичен опит за бъдещите гравиметрични проучвания на района.

Котите на измервателните точки разположени върху сняг забележимо се менят поради непрекъснатото топене на снега през антарктическото лято и от снеговалежите. Съществува и ефектът на постоянно потъване на загрятите от светлината тъмни колчета в снега. Това налага гравиметричните работи да вървят скоро след геодезичната трасировка и нивелация. Повторните контролните измервания от същия и особено от предни рейсове могат да се извършват само в запазени положения си точки.

Транспортът на гравиметъра с моторна шейна или пеша предизвиква чувствителни разлики в часовия ход на уреда. Препоръчва се използването на един вид транспорт в даден гравиметричен рейс.

При измерванията на снежна и ледена покривка се изпитват трудности с хоризонтирането на гравиметъра. Ако той се поставя върху плоска подложка се получава топене на пресования сняг с бързо излизане от нагласеното хоризонтално положение. Необходимо е използването на ниски трикраки подложки.

По време на измерванията се появява трудност, свързана със светлинния контраст, който при честите смени от виждане в тъмния окуляр на гравиметъра последвано от ослепителната белота на околността при снемане на отчета, въздейства силно и причинява умора след 2-3 часа работа. Използването на защитни тъмни очила не решава задоволително проблема, препоръчва се измерването при облачно време.

В една точка се налага снемането на 4, 5 и повече независими отчета, докато се получи стабилен резултат. Това удължава времето на измерване до десет минути, което заедно с усложнения транспорт води до снижена производителност на гравиметричните работи.

След приключване на дневния рейс гравиметърът да се оставя извън добре отоплявани помещения, но в закрито предверие в подходящ съд. Преди началото на рейса гравиметърът да се изважда на открито за темпериране около 30 мин. Първичната обработка на данните и оценката за качеството следва да се извършва непосредствено след дневния рейс. Препоръчително е използването на широкодиапазонни термостатни гравиметри. Необходимо е достатъчно точно и обхватно топографско осигуряване на снимките за изчисляване на гравиметричните аномалии с въвеждане на корекции за релеф.

В заключение може да се направи изводът, че гравиметричните работи изискват внимателна предварителна подготовка за всеки елемент от измервателните действия и от обработката на данните.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ

Благодарности. Изпълнението на изследователските работи бе подпомогнато от НС "Научни изследвания" при МОН по договор НЗ-1318/03. Българският антарктически институт с неговия директор проф. д-р Хр. Пимпирев осигури участието на геофизика Н. Кръстев в експедициите до БАБ.

Литература

- Димов, Д., Станчев В., А. Петрова. 1997. Детайлна магнитна снимка и профил на малък ледник южно от БАБ "Св. Климент Охридски" – остров Ливингстън, Антарктида. – Год. СУ "Св. Климент Охридски", 50 години спец. Геология, 115-117.
- Кръстев, Н., Д. Димов, В. Станчев, П. Ставрев. 2005. Геофизични изследвания в района на Българската научна база на остров Ливингстон, Антарктика, 2002 г. – Год. СУ "Св. Климент Охридски", Физ. ф-т, 98, 141-152.
- Рангелов, Б. 2002. Комплексни геолого-геофизични изследвания в Антарктида. – Год. МГУ "Св. Иван Рилски", т. 45, св. I, Геология, 117-121.
- Ставрев, П., Н. Кръстев, В. Станчев, Р. Радичев, Д. Йорданова, Д. Димов. 2007. Геофизични изследвания в района на Българската Антарктическа База: Геомагнитни и гравиметрични изследвания. – Научен отчет по тема НЗ-1318/03 към НС "НИ" при МОН.
- Dimov, D., Stanchev V., A. Petrova. 1997. Magnetic anomaly map of the Livingston Island. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 50, 7.
- Krastev, N., Dimov D., Tocheva Z., Kies A., Stanchev V., Jordanova D., Jordanova N., P. Stavrev. 2002. Geophysical Investigations in the area of the Bulgarian scientific base at Livingston island, Antarctica, year 2002. *Book of Abstracts, 3rd Balkan Geophysical Congress, Sofia*, 260
- Krastev, N., D. Dimov, P. Stavrev, V. Stanchev, R. Raditchev, M. Georgiev, D. Jordanova. 2005. Geophysical investigations during the 13th Bulgarian Antarctic Expedition 2005. *Forth Congress of the Balkan Geophysical Society, 9-12 Oct. 2005, Bucharest, Romania, Conference volume*, 613-616.

ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ СПЕЦИФИКАТА В РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА КОЕФИЦИЕНТА НА КОРЕЛАЦИЯ ПРИ СЪПОСТАВЯНЕ НА ГЕОФИЗИЧНИ ПОЛЕТА

Ради Радичев, Стефан Димовски

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

РЕЗЮМЕ. За количествена оценка на взаимоотношенията между изследвани геофизични полета се извършва площна корелация. Реализирани са голям обем изследвания върху синтетични модели за изясняване спецификата на някои елементи на разпределението на коефициента на корелация. Направените изводи напълно се потвърждават от резултатите върху тестове за реални карти. Влиянието на базовата площ на корелация се отразява върху диапазона, в който се разполага коефициента на корелация и върху броя на обособените площи със значим коефициент на корелация. Относително локалните аномалии спрямо прозореца на корелация при съпоставимо отнемане се изясняват с отрицателен коефициент, като негативната корелационна аномалия се разполага в централната част спрямо отнемането, т.е. между епицентрите на аномалиите за двете карти, които се корелират. Това е напълно закономерно като се отчита, че между епицентрите на аномалиите разпределението на градиента е разнопосочно.

A STUDY OVER THE SPECIFICS IN THE DISTRIBUTION OF THE CORRELATION COEFFICIENT BETWEEN GEOPHYSICAL FIELDS

Radi Radichev, Stefan Dimovski

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

ABSTRACT. The coefficient of surface correlation can be calculated in order to obtain quantitative assessment for the interrelation between studied geophysical fields. A big number of numerical tests over synthetic models were performed for determining the specifics in some elements of the correlation coefficient distribution. The obtained conclusions were verified by the results acquired from tests over real field geophysical data. The size of the window applied for the surface correlation has influence on the range of correlation coefficient values as well as on the number of zones characterized by high correlation coefficient values. If two relatively local in respect to the size of the applied window anomalies are slightly shifted towards each other then a well-distinguished zone with negative correlation coefficient values is present. This negative correlation anomaly is situated between the epicenters of the two studied geophysical field anomalies. This is due to the fact that in this region the gradient vectors of the analyzed geophysical fields have different directions.

Въведение

Разпределението на геофизичните полета съдържа информация за геолого-геофизичната специфика на изследваната територия. При това особеностите на геоложкия строеж се изясняват косвено върху всяко поле в зависимост от неговата връзка с конкретен физичен параметър. Теоретичен и практически интерес представлява изследването на взаимовръзката между разпределението на геофизичните полета за всяка конкретна територия. Съпоставянето на геофизичните полета и тяхната комплексна оценка допринасят за цялостно и еднозначно извличане на полезната информация, която те съдържат за геоложкия строеж.

От гледна точка на математическата статистика и теорията на вероятностите основният количествен критерий за взаимовръзката между изследвани геофизични полета или други признаци е корелацията между тях. Обикновено в обхвата на изследвани площи съществува многообразие от геоложки елементи, които са

отразени в разпределението на изследваните признаци еднопосочно или разнопосочно, а също и в различна степен. Това определя целесъобразността от реализирането на площна корелация с избрано ниво на детайлизация (Димовски и др., 2006). Площната корелация се реализира за избрана базова площ $\Delta X \times \Delta Y$ km, което при дискретизация на планшета по мрежа $m \times n$ km, съответства на корелация по $\frac{\Delta X}{m} \times \frac{\Delta Y}{n}$ точки (стойности).

Преместването на базовата площ по планшета става с определена стъпка, кратна на дискретизацията, съответно k km по X и p km по Y .

Анализът на резултатите, получавани при корелацията, показва добро съответствие при оценката на тенденциите на изменение на градиентите на съпоставяните полета, като се наблюдават някои специфични особености. Тяхното отчитане е необходимо за правилното методично насочване на анализа и интерпретацията.

Изследвания върху разпределението на коефициента на площна корелация

Извършени са голям обем изследвания върху синтетични модели за изясняване спецификата на някои елементи на разпределението на коефициента на площна корелация. Направените изводи напълно се потвърждават от резултатите върху тестове за реални карти.

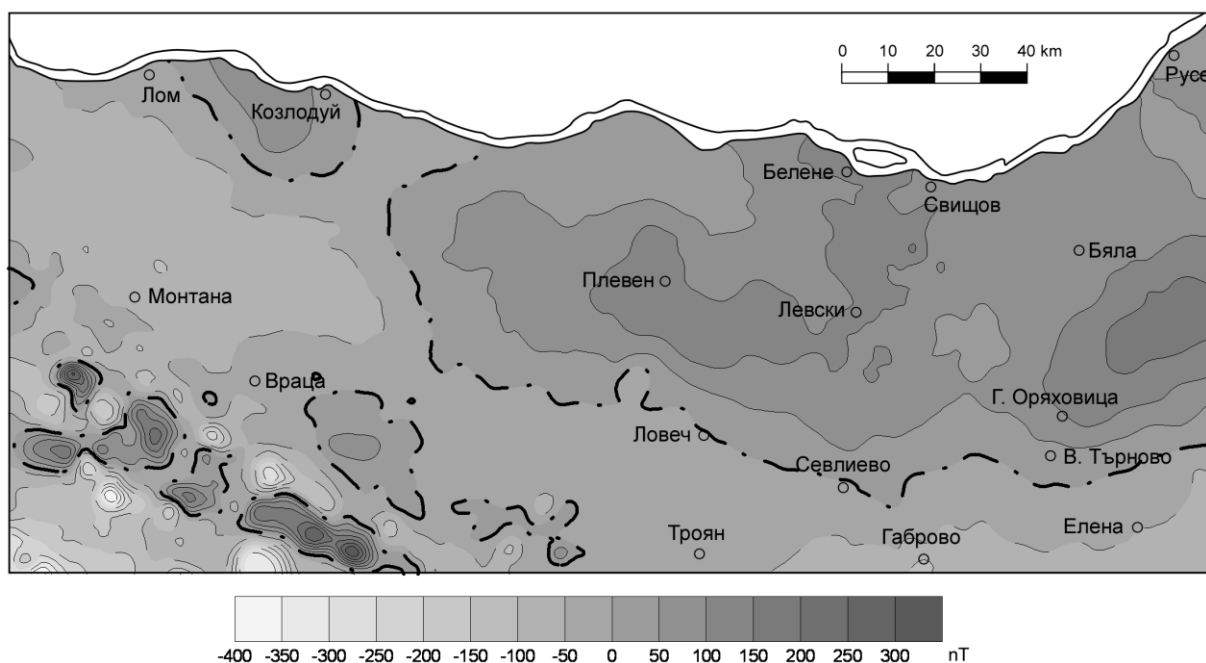
Основното внимание при изследванията е ориентирано към оценка на влиянието на:

- размерите на базовата площ;
- спецификата на разпределение на коефициента на корелация при възможно площно отместване на аномалии,

отразени в двете анализирани полета и еднозначно привързани към един и същ смутител; отместването винаги допринася за разнопосочно разпределение на градиента за съпоставените признаци в обхвата на относително детайлни участъци.

Някои от основните резултати могат да се илюстрират на базата на площното разпределение на коефициента на корелация при съпоставянето на карти на разпределение на геомагнитното поле в Северозападна България (фиг. 1).

Това поле се характеризира с добре изразени аномални проявления.



Фиг. 1. Схема на разпределение на геомагнитното поле за територията на Северозападна България

В централната част на изследваната територия се отделя много добре оформена позитивна аномалия, която има ориентация ИЮИ-ЗСЗ и интензитет около 130 nT. От източната част на тази аномалия на север с почти меридионална ориентация се отделя втора линейна аномалия.

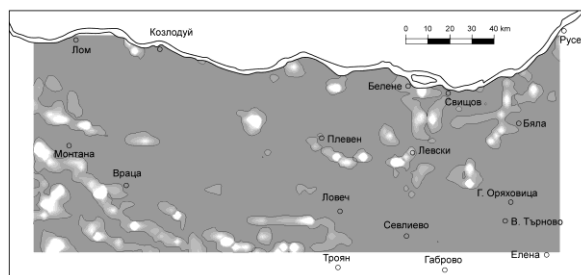
В най-източната част на територията се изяснява западния клон на Поповската магнитна аномалия. Западно от Козлодуй намира проявления южната част на магнитна аномалия, която има интензитет около 100 nT и остава отворена на север към територията на Румъния.

Три изтеглени негативни аномалии се разполагат в Южномизийската предплатформена област и Предбалкана – от запад на изток това са аномалиите в района на Белослатинското и Дългоделското понижение, в района на Луковитското понижение и в района на Пашалненско-Стражанското понижение. В югозападната част на територията, в района на Западния Балкан, се наблюдава добре изразена мозаечна структура на геомагнитното поле.

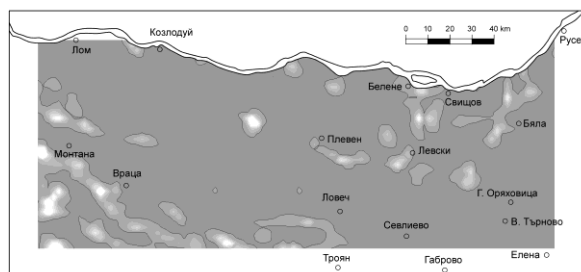
Влиянието на размерите на базовата площ добре се илюстрира от площната корелация между разпределението на аналитичните продължения на геомагнитното поле на различна височина в горното полупространство.

Аналитичните продължения в горното полупространство са реализирани със стъпка 1 km. Коефициентът на площна корелация, както и следва да се очаква, е най-висок за картите с разлика в нивата 1 km, при които степента на различие е относително малка. При увеличаване на диапазона между нивата на пренасяне коефициентът на площна корелация закономерно намалява.

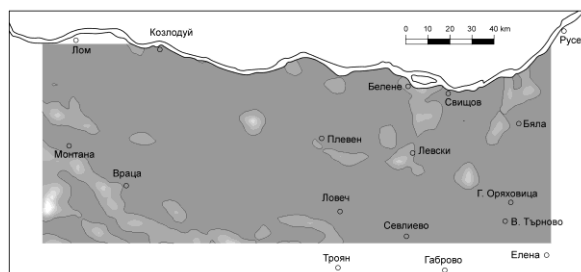
Практически интерес представлява количественият анализ на площното разпределение на коефициента на корелация в зависимост от прозореца на корелация (размера на базовата площ). Влиянието на този фактор добре се илюстрира от получените резултати при площната корелация между разпределението на аналитичните продължения на геомагнитното поле в горното полупространство на височина 4 km и 5 km (фиг. 2 и таблица 1).



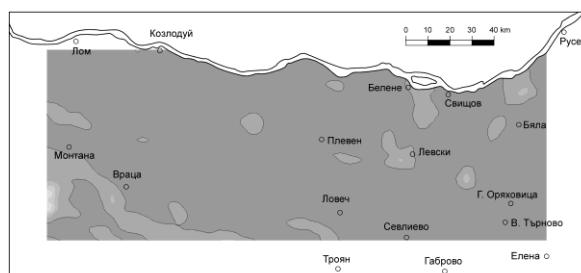
а



б



в



г

Фиг. 2. Схеми на разпределение на коефициента на площна корелация между аналитичните продължения на геомагнитното поле в Северозападна България в горното полупространство на височина 4 и 5 km при базова площ (прозорец на корелация) с размер съответно 3 x 3 km (а); 7 x 7 km (б); 11 x 11 km (в) и 15 x 15 km (г). Изчертана е изолинията за коефициент на корелация $r = +0,995$

Анализът на получените резултати показва, че коефициентът на корелация е положителен и диапазонът, в който се разполага намалява при увеличаване размера на базовата площ. Едновременно с коефициента намалява и броят на обособените аномални участъци - локализиран се само аномалии, съизмерими или по-големи от базовата площ (прозореца) на корелация. Тези закономерности много добре се илюстрират от данните, представени в таблица 1 и схемите, илюстрирани на фиг. 2.

Диапазонът, в който се разполага положителният коефициент на корелация последователно намалява при преминаване от прозорец с размер 3x3 km към прозорец с размер 15x15 km, броят на аномалиите, оконтурени с

изолиния $r = +0,995$ намалява, а площта на конкретните обособени аномалии нараства.

Таблица 1

Диапазон на изменение на коефициента на площна корелация между аналитичните продължения на геомагнитното поле в горното полупространство на височина 4 и 5 km в зависимост от размерите на базовата площ

Размери на базовата площ [km x km]	3 x 3	5 x 5	7 x 7	9 x 9	11 x 11	13 x 13	15 x 15
Диапазон на коефициента на площна корелация	$0,1 \div 1$	$0,48 \div 1$	$0,73 \div 1$	$0,83 \div 1$	$0,875 \div 1$	$0,91 \div 1$	$0,935 \div 1$

Основните изводи могат да се илюстрират с резултатите, получени при извършената площна корелация между аналитичното продължение на геомагнитното поле на височина 5 km и същото поле, отместено от изток на запад на разстояние 6 km (фиг. 3).

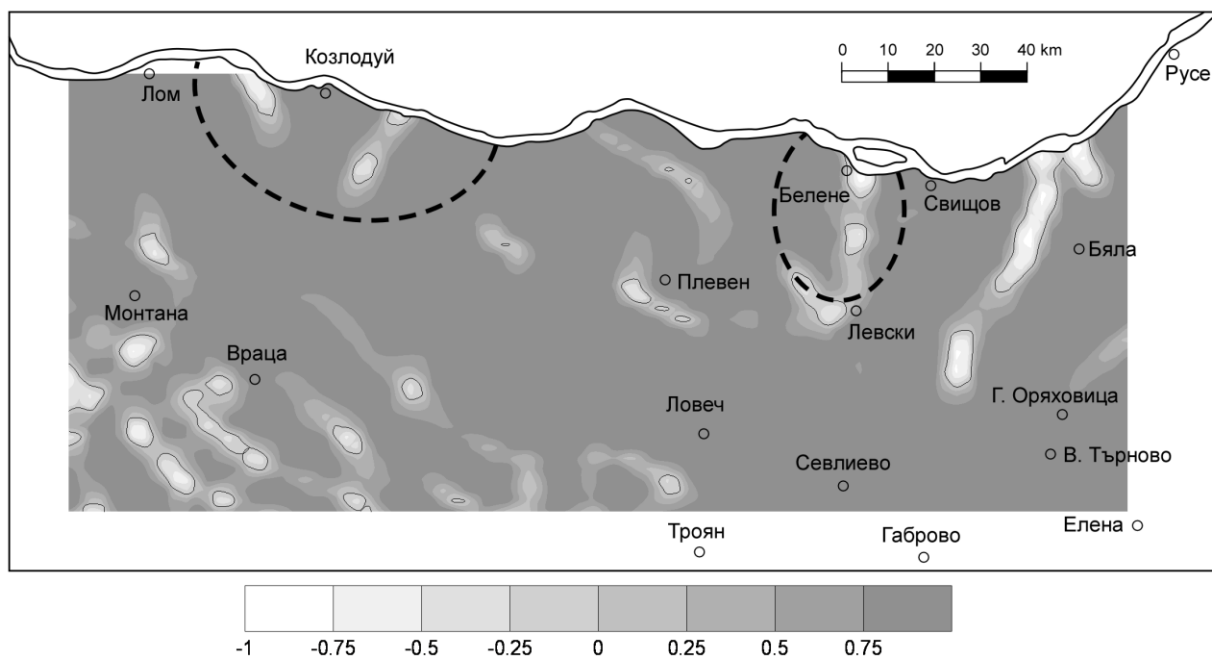
Детайлно е изследвано влиянието на възможно площно отместване на аномалии, отразени в двете анализирани полета и еднозначно привързани към един и същ смутител.

Използвана е базова площ за корелация 7x7 km (броят на точките за изчисляване на коефициента на корелация е съответно 49). Забелязват се следните особености:

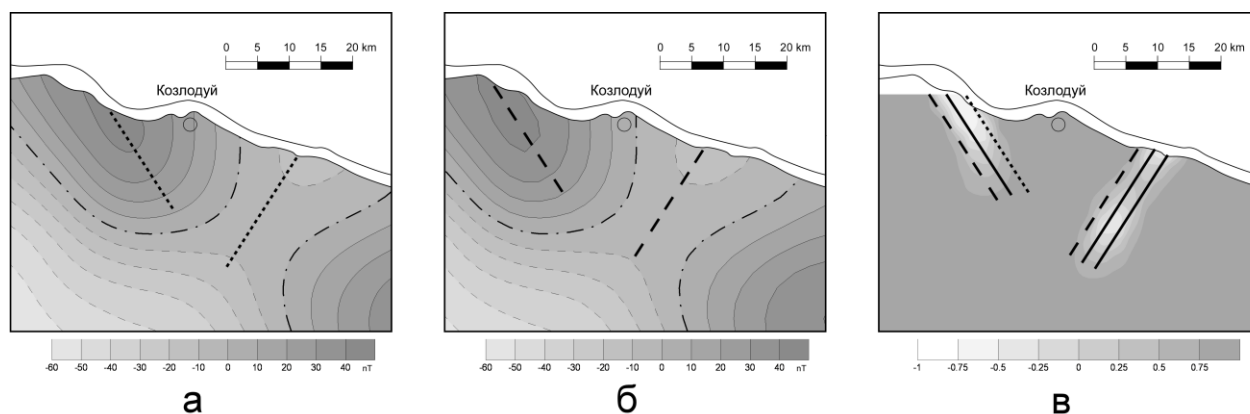
- Основната част от територията се характеризира с коефициент на площна корелация $r = +1$.
- Относително локалните аномалии спрямо прозореца на корелация при съпоставимо отместване се изявяват с отрицателен коефициент в централния участък на основната позитивна аномалия. Отрицателната корелационна зона се разполага в централната част спрямо отместването, т.е. между епицентрите на аномалиите за двете карти, които се съпоставят. Тази особеност е напълно закономерна като се отчита, че между епицентрите на аномалиите разпределението на градиента е разнопосочно. Тя еднозначно се откроява за всички аномалии и добре се илюстрира от аномалиите, наблюдавани в района на Козлодуй (фиг. 4) и в района на Белене (фиг. 5).

Резултатите от методичните изследвания и установените закономерности са основна предпоставка при определяне на подхода към:

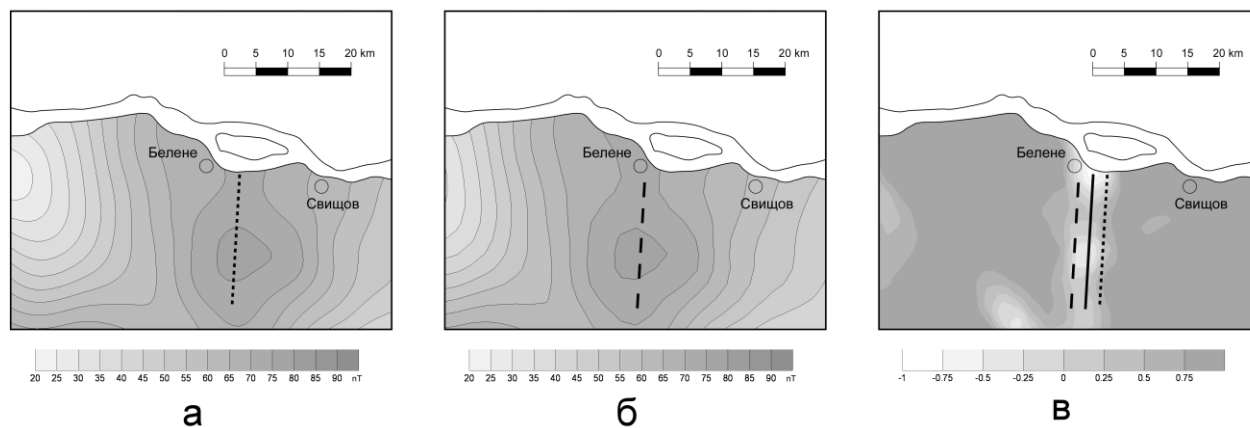
- избор на оптимален прозорец за изчислителните операции;
- интерпретация на получените карти на разпределение на коефициента на площна корелация.



Фиг. 3. Разпределение на коефициента на площна корелация между аналитичното продължение на геомагнитното поле на височина 5 km и същото поле отместено от изток на запад на 6 km. Посочени са аномалиите в районите на Козлодуй и Белене, анализирани на фиг. 4 и фиг. 5.



Фиг. 4. Разпределение на аналитичното продължение на геомагнитното поле на височина 5 km за позитивна аномалия западно от Козлодуй и негативна – източно от Козлодуй (а), разпределение на аномалиите при отместване на полето от изток на запад на 6 km (б) и разпределение на коефициента на корелация между двете полета (в)



Фиг. 5. Разпределение на аналитичното продължение на геомагнитното поле на височина 5 km за позитивна аномалия около Белене (а), разпределение на аномалиите при отместване на полето от изток на запад на 6 km (б) и разпределение на коефициента на корелация между двете полета (в)

Илюстрация на получените методични резултати от площната корелация на геомагнитното и топлинното поле в Северозападна България

Получените резултати от изследванията на разпределението на коефициента на площна корелация за избрани модели намират еднозначно проявление при комплексната оценка на геофизичните полета и други признаци. Това може да се илюстрира от площната корелация между геомагнитното поле и разпределението на температурата на дълбочина 500 m в района на Козлодуй (фиг.6).

Върху разпределението на геомагнитното поле в района на Козлодуй се разполага много добре изявена позитивна аномалия (Фиг.6а). Тази аномалия с интензитет около 100 nT и ориентация ЮЮИ–ССЗ е отворена на север към територията на Румъния. Максималният градиент на геомагнитното поле, който обособява аномалията е около 7–8 nT/km.

Разпределението на температурата в района на Козлодуй на дълбочина 500 m при усредняване с прозорец 400 m² е представено на фиг. 6б (Dobrev et al., 2004). В района на Козлодуй се разполага аномалия с интензитет около 10–12 °C. Тя е слабо изтеглена с почти меридионална ориентация и се обособява с максимален градиент на изменение на температурата около 0,3 °C/km.

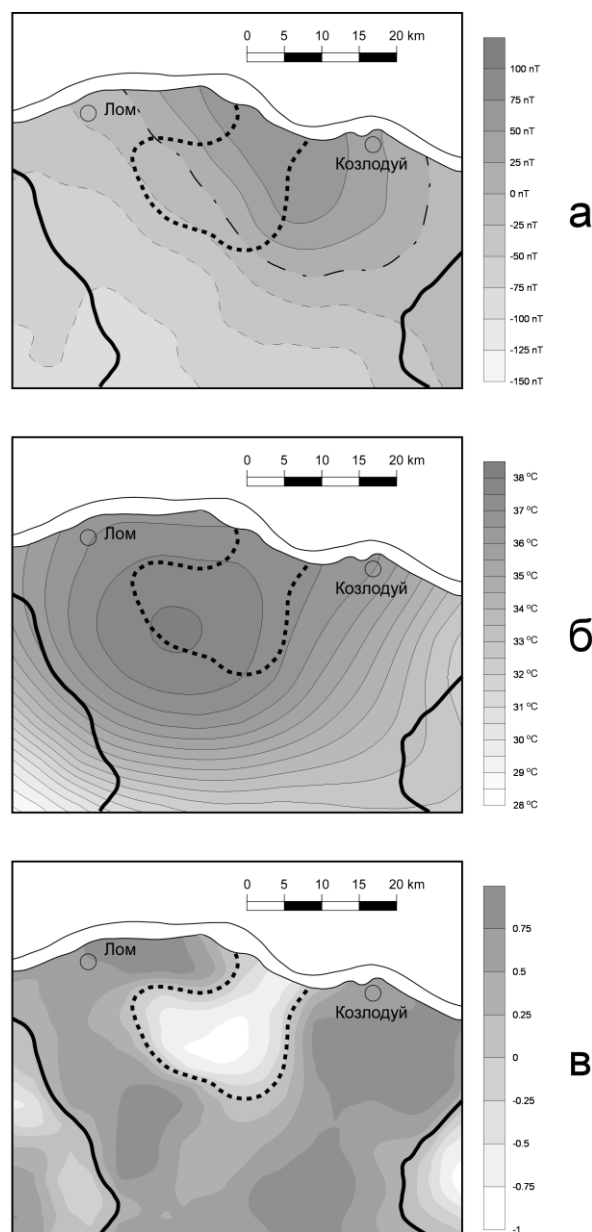
Разпределението на коефициента на площна корелация между двете полета с прозорец 11 x 11 km се представя на фиг. 6в. С обширна добре оформена позитивна аномалия се отделя едновременното присъствие в изследваната територия на положителни аномалии за двете съпоставяни полета. В центъра на тази позитивна аномалия се разполага зона с отрицателен коефициент на корелация, оста на която е в средата между осите на аномалиите за двете карти, които се съпоставят. Площното разположение на тази зона ограничава участъка, в който разпределението на градиента в обхвата на пространствено отместените аномалии е разнопосочно – за геомагнитното поле градиентът нараства от запад на изток (фиг. 6а), а за разпределението на температурата градиентът намалява в същата посока - от запад на изток (фиг. 6б). Получените резултати са в пълно съответствие с изводите от методичните изследвания.

Влиянието на използвания прозорец за площна корелация се илюстрира от представените на фиг. 7 схеми на разпределение на коефициента на площна корелация за района на Козлодуй при използване на базова площ 4 km² (фиг. 7а), 36 km² (фиг. 7б), 100 km² (фиг. 7в) и 196 km² (фиг. 7г).

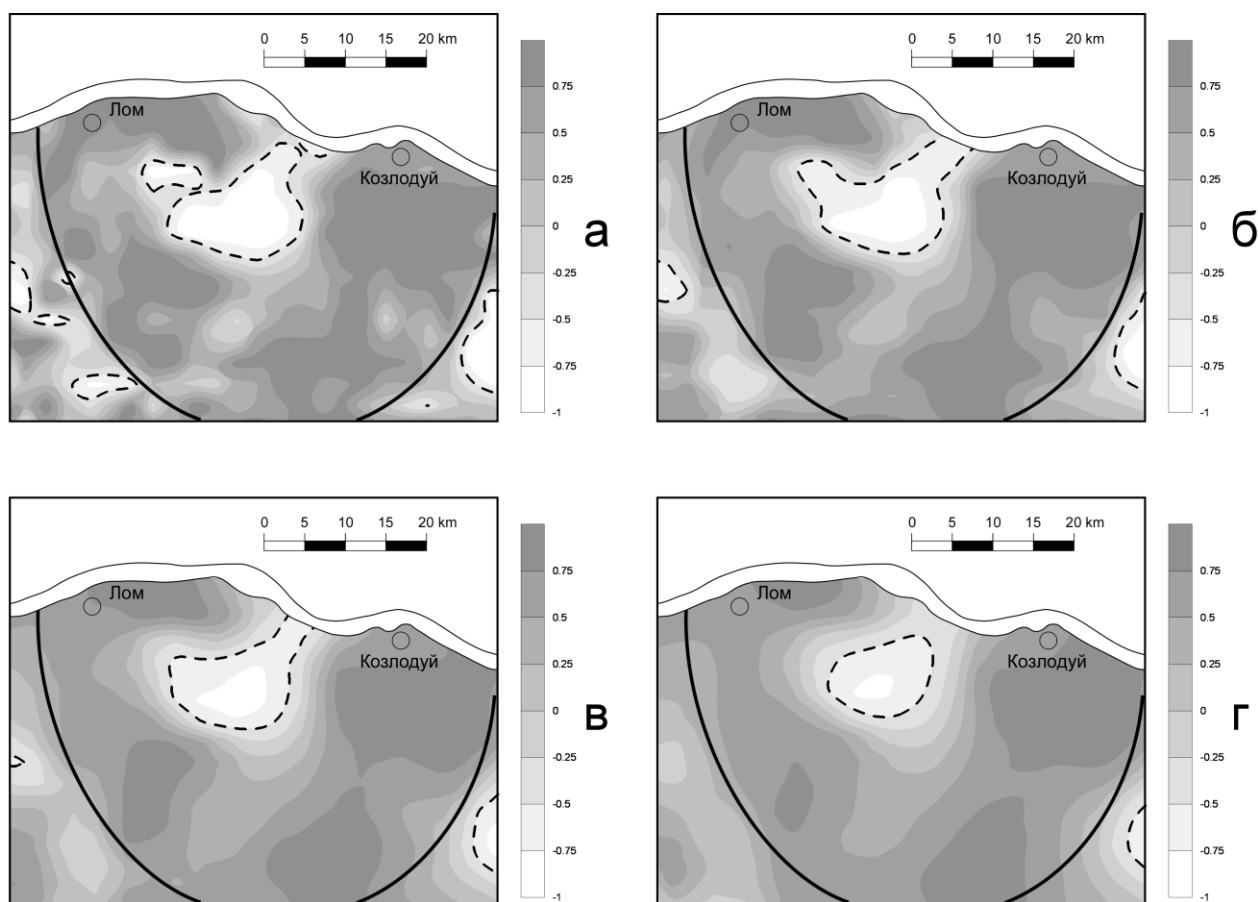
Анализът на представените схеми потвърждава и конкретизира резултатите от методичните изследвания. Върху схемата с най-малък прозорец – 4 km² (фиг. 7а) доминира висок положителен коефициент на корелация, който определя съответствието между аномалия, отразена върху геомагнитното поле и разпределението на температурата на дълбочина 500 m. На този фон в

централната част на площта се отделя участък с отрицателен коефициент на корелация, който отразява отместването на епицентрите на съпоставяните аномалии. Освен този основен участък върху схемата се обособяват и няколко локални проявления с коефициент на корелация $r < +0.5$, като минималният им обхват закономерно съответствува на използвания прозорец.

При увеличаване на размера на базовата площ за която се реализират изчислителните операции, последователно се постига по-хомогенна изява на разпределението на високия положителен коефициент на корелация и обособяване на зоната с отрицателен коефициент, която индицира пространственото отместване на двете съпоставяни аномалии.



Фиг. 6. Разпределение на: геомагнитното поле (а); температурата на дълбочина 500 m при осредняване с прозорец 400 m² (б) и коефициента на площна корелация между двете полета (в) Изчертани са: положителната аномалия на коефициента на корелация (плътна линия) и обхвата на отрицателния коефициент на корелация (точков пунктир)



Фиг. 7. Схеми на разпределение на коефициента на площна корелация за района на Козлодуй между геомагнитното поле и разпределението на температурата на дълбочина 500 m при използване на базова площ 4 km² (а), 36 km² (б), 100 km² (в) и 196 km² (г). Изчертани са обхвата на позитивната аномалия (плътна линия) и изолинията с коефициент на корелация $r = -0,5$ (пунктирна линия)

Заклучение

Извършени са голям обем изследвания върху синтетични модели за изясняване спецификата на разпределението на коефициента на площна корелация. Направените изводи напълно се потвърждават от резултатите върху тестове за реални карти.

1. При увеличаване размера на базовата площ (прозореца на корелация): намалява диапазонът, в който се разполага коефициентът на корелация; намалява броят на обособените площи.

2. Относително локалните аномалии спрямо прозореца на корелация при площно отместване се изясняват с отрицателен коефициент, като негативната корелационна аномалия се разполага в централната част спрямо отместването, т.е. между епицентрите на аномалиите за двете карти, които се корелират. Това е напълно закономерно като се отчита, че между епицентрите на аномалиите разпределението на градиента е разнопосочно. Констатираната закономерност налага всяка локална отрицателна аномалия да бъде анализирана съвместно с изходните данни и използваните параметри на площната корелация.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ

Литература

- Добрев, Т., В. Иванова, Р. Радков. 1989. *Комплексиране при геофизичните проучвания*. С., Техника, 219 с.
- Комплексиране методов разведочной геофизики. 1984. *Справочник геофизика*. М., Недра, 385 с.
- Димовски, С., Р. Радичев, Г. Зашев. 2006. Площна корелация между разломната тектоника и данните от аерогамаспектрометрията за района на Асарел – Централно Средногорие. – *Сборник "Национална конференция с международно участие ГЕОНАУКИ 2006"*, 414-417.
- Dobrev, T., S. Dimovski, S. Kostianev. 2004. Level of study the geothermal field in Bulgaria and methodical approach towards investigating its depth distribution. – *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"*, 47, part I, *Geology and Geophysics*, 251-258
- Radichev, R., S. Dimovski. 2006. Characteristics of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte Ore Region according to gravitational data. – *Annual of the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski"*, 49, part I, *Geology and Geophysics*, 203-208.
- Telford W., L. Geldart, R. Sheriff, D. Keys. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, Cambridge, 843 p.

МИГРАЦИОННИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТВЪРДИЯ ОТПАДЪК (ПЕПЕЛИНАТА), ОТДЕЛЯН ПРИ ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ТЕЦ

Николай Т. Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Посредством лабораторни индикаторни опити в колони е направена оценка на миграционните характеристики на твърдия отпадък (пепелината), отделян при експлоатацията на ТЕЦ. Изследванията са направени с материал от площадката на Гипсоотвал №1 на обект ТЕЦ "Марица изток 2". Като индикатори са използвани хлоридни, сулфатни, натриеви и калиеви йони. Миграционните характеристики на пепелината са определени с разработената от автора компютърна програма LTT1DPI. Получените резултати могат да се използват не само за оценка на възможното замърсяване на подповерхностното пространство в района на ТЕЦ "Марица изток 2". Те имат универсален характер и е уместно да се ползват при моделиране на условията за разпространение на замърсителите и в други индустриални райони, където в горната част на разреза са установени насипи от пепелина.

MASS-TRANSPORT PARAMETERS OF THE ASH RELEASED FROM COAL BURNING AT A THERMOELECTRIC POWER PLANT

Nikolay T. Stoyanov

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

ABSTRACT. Laboratory tracer experiments are performed in order to estimate the mass-transport parameters of the ash released from coal burning at a thermoelectric power plant (TEP). Solid waste products from coal burning at the "Maritsa east 2" TEP are used in the performed study. Chloride, sulphate, sodium and potassium ions are applied as tracers. The mass-transport parameters of the ash are determined by the application of the computer program LTT1DPI developed by the author. The obtained results can be used not only for the estimation of a possible contamination of the subsurface area in the region of the "Maritsa east 2" TEP. They have universal character and it is appropriate to apply them in the course of mass-transport modeling when the conditions of pollutants spread are estimated in other industrial regions where ash depositions are present in the near-surface part of the section.

Въведение

Отделеният при експлоатацията на ТЕЦ твърд отпадък (пепелина) се депонира под формата на сгуротвали, заемащи твърде големи по площ територии. Тези техногенни образувания формират съвременния ландшафт в големите индустриални райони. Така тук те изграждат най-горните части на подповерхностното пространство и в хидрогеоложки аспект могат да се разглеждат като част от зоната на аерация (неводоносителната зона). Нерядко върху пепелината се насипват и други отпадъчни материали, които са продукти от различни промишлени производства, строителството и минната дейност. Отделяните от тях конвенционални замърсители (Cl, SO₄, NO₃, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, тежки метали и др.) преминават в подповерхностното пространство с инфилтриращите в дълбочина валежни води.

За по-точна оценка на обхвата и степента на възможното замърсяване на подповерхностното пространство в това число и на подземните води, както и за прогнозиране на възможното развитие на този процес е много важно доброто познаване на основните миграционни характеристики на средата – активна порестост n_0 , сорбционна порестост n_s и надлъжна дисперсивност α_L и

др. Тези интегрални характеристики най-общо отразяват физико-химичните процеси, които съпровождат разпространението на замърсителите. Те от една страна детерминират забавянето на фронта на замърсяване спрямо действителната скорост на филтрационния поток, а от друга – намалението на концентрациите на замърсителите по посока на потока.

В специализираната литература могат да се намерят данни за миграционни характеристики на основните литоложки разновидности (чакъли, пясъци, глини и преходите между тях, както и за скални масиви с различна напуканост и окарстеност) по отношение на различни конвенционални замърсители (Garabedian, Gelhar and Celia, 1988; Gelhar et al., 1992; Harpaz, 1965; Papadopoulos and Larson, 1978 и др.). Посочените там стойности са приблизителни и не могат да обхванат широкото многообразие на природната среда. Те е възможно да бъдат ползвани главно при изготвянето на предварителни оценки или когато се правят прогнози за възможното замърсяване в регионален план. При по-детайлното проучване на условията за разпространение на замърсителите в границите на всеки конкретен обект, обаче, определянето на миграционните характеристики е въпрос с приоритетно значение.

Същевременно, в литературните източници липсват данни за миграционните характеристики на антропогенните пластове – строителни насипи, насипища от стерилни или бедни на полезни компоненти скали край минно-добивните обекти, сгуроотвалите край ТЕЦ и т.н. Ето защо, резултатите от проведените в рамките на този проект изследвания за определяне на миграционните характеристики на проби от сгуроотвала край ТЕЦ “Марица изток 2” са особено актуални и имат не само локално значение.

Обща характеристика на изследвания обект

Обект на изследване е Сгуроотвал № 1 на ТЕЦ “Марица изток 2”. Той е разположен на юг от централата и заема част от долината на р.Овчарица. Към момента на проучването е надграден до кота 162. В намитата пепелина са изградени три утаечни басейни, които последователно се наливат, осушават и изгребват.

Естествената морфология на терена е изцяло променена от насипаната минна маса от откритката на рудник “Трояново север” и от наливането на сгуропепелина от ТЕЦ “Марица изток 2”. До котата на наливане теренът е равнинен. Тук в резултат от хидротранспортирането на пепелината, както и от падналите валежи са формирани малки по площ и много плитки водоеми. Южно от площадката, са изградени минни насипи до коти 170 –200.

За определяне на зърнометричния състав и физико-механичните характеристики на пепелината в лабораторни условия са изследвани 10 проби. Резултатите показват, че насипаният (намитият) на сгуроотвала материал е хомогенен. Осреднени данни за зърнометричния състав и физичните характеристики на пепелината са представени в Таблица 1.

Таблица 1

Зърнометричен състав и физични характеристики на сгуропепелината

Зърнометричен състав	Фракция		
	Наименование		Съдържание, %
	Пясък	Едър	>1.0
		1.00-0.50	0.4
		0.50-0.25	1.2
		0.25-0.10	8.4
Физични характеристики	Прах	Едър	0.10-0.01
		0.010-0.005	58.0
	Глина	Ситен	5.0
		<0.005	4.0
	Влажност, %		88.0
	Обемна плътност, g/cm ³		1.32
	Специфична плътност, g/cm ³		2.36
	Плътност на скелета, g/cm ³		0.60
Физични характеристики	Пористост, -		0.70
	Коефициент на филтрация, m/d		0.30

Голямото съдържание на прахова компонента е причина за относително ниската водопропускливост на пепелината. Същевременно, значителното присъствие на прахови и

глинести частици определя и високата задържаща способност на средата.

Методика на изследването

Опитна постановка

Лабораторните индикаторни опити обикновено се провеждат във филтрационни колонии. Затова често за тях се използва терминът “опити в колонии”. Подробности, относно необходимото оборудване, схемата и техниката на изпълнението на тези опити, могат да се намерят в голям брой литературни източници – Веригин (1977), Пенчев и Великов (1979), Бочев и др. (1979), Гълъбов и Пенчев (1986) и др.

Накратко, опитите в колонии се извършват в следната последователност. В колоната се вгражда материал от изследваната разновидност, след което се водонасища като водата се подава отдолу нагоре. В хода на опита от единия край на колоната с постоянна скорост v (от 0.1 до 1.0 m/d) се нагнетява (най-често посредством перисталтична помпа) чиста вода. Водата се филтрира през вградения материал и изтича от другия край на колоната. След стабилизирането на филтрацията започва нагнетяването на вода, в която е разтворен изследвания индикатор (замърсител) с начална концентрация c_0 . Предварително е определена и неговата фоновата концентрация в чистата вода c_f . След подаването на индикатора се следи изменението на концентрацията му на изхода на колоната $c(t)$. Опитът продължава до стабилизирането на изходните концентрации на индикатора. Възможно е подаването на индикатора да не бъде непрекъснато, а само за краен интервал от време (импулсно или пакетно). Този подход, обаче, не е препоръчителен, тъй като при него определянето на миграционните параметри е доста по-неточно.

Идентификационен метод

Съществуват различни идентификационни методи за определяне на миграционните характеристики по данни от индикаторните опити в колонии. Те се основават на аналитични, числени или полуаналитични решения на диференциалните уравнения, описващи процеса на миграция. Според начина на обработка идентификационните методи се отделят в две основни групи. В първата група попадат тези, които използват характерни точки от апроксимиращата данните от опита крива – Fried (1975), Пенчев и Великов (1979), Гълъбов (1983), Мироненко и Румынин (1986) и др. Към втората група се причисляват методите, основаващи се на сравнението на експерименталните данни със серия от теоретични криви. Сравнението се извършва или ръчно, с използването на еталонни криви, или автоматично, чрез различни математически алгоритми – Гълъбов (1979), Гълъбов и Пенчев (1984, 1986), Лукнер и Шестаков (1986), Sauti и Kinzelbach (1988) и др.

Данните от проведените индикаторни опити с пепелина от ТЕЦ “Марица изток 2” са обработени с компютърната програма LTT1DPI (Стоянов, 2003). В алгоритъма на

програмата е използвано аналитично решение на частното диференциално уравнение, описващо едномерното движение на замърсителите в пореста среда. Решението е получено при допускането, че в хода на експеримента подаването на индикатора е непрекъснато, а неговата входна концентрация е постоянна величина. То е изведено от Kinzelbach (1986) във вида:

$$c(t) = \frac{c_0}{2} \exp\left(\frac{x}{2\alpha_L}\right) \left[\exp\left(\frac{-x\gamma^*}{2\alpha_L}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x - \gamma^* tv}{\sqrt{\frac{4\alpha_L tv}{n_s}}}\right) + \exp\left(\frac{x\gamma^*}{2\alpha_L}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x + \gamma^* tv}{\sqrt{\frac{4\alpha_L tv}{n_s}}}\right) \right] \quad (1)$$

където:

$$\gamma^* = \sqrt{1 + \frac{4\gamma\alpha_L n_s}{v}} \quad (2)$$

$c(t)$ – концентрация на изхода на колоната в момент t от началото на опита, ML^{-3} ; c_0 – начална (входна) концентрация, ML^{-3} ; x – дължина на колоната, L ; v – скорост на филтрация (по Darcy), LT^{-1} ; n_s – сорбционна порестост, без дименсия; α_L – надлъжна дисперсивност, L ; γ – коефициент на елиминиране, T^{-1} ; t – време, T .

Необходимо е да се направи пояснението, че ако замърсителите са несорбируеми и се движат със скоростта на филтрационния поток, то сорбционната порестост n_s е равна на активната порестост на средата n_0 . Между тези две характеристики и по-общия и често използван параметър фактор на забавяне R_f съществува връзката:

$$n_s = n_0 R_f \quad (3)$$

За несорбируемите замърсители $R_f = 1$, а за сорбируемите – $R_f > 1$.

Имплементираният в LTT1DPI идентификационен метод се основава на напълно автоматизирано сравняване на експерименталните данни със серия от теоретични криви, получени с помощта на уравнение (1). Теоретичните криви се получават чрез вариране на търсените параметри n_0 , n_s , α_L и γ . За намиране на точните им стойности е използвана оптимизационната процедура Levenberg-Marquardt, с която се търси минимума в разликите между теоретичните криви и наблюденията от опита. Процедурата е подробно описана в специализираната литература – Marquardt (1961), Brown и Dennis (1972) и др.

Необходимите входни данни за програма LTT1DPI са: дължина на пробата x [m]; скорост на филтрация v [m/d]; фонова концентрация c_b [g/l]; начална концентрация c_0 [g/l]; текстов файл с данни за концентрацията $c_i = f(t_i)$ [g/l], където t_i е времето от началото на опита до i -тото измерване [min].

Описание на лабораторните миграционни изследвания. Резултати

За определяне на сорбционната порестост (n_s) и надлъжната дисперсивност (α_L) на пепелината, депонирана от ТЕЦ “Марица изток 2”, са проведени два индикаторни опита по описаната по-горе схема. Като индикатори при определенията са използвани силно подвижните (несорбируеми до много слабо сорбируеми) хлоридни и сулфатни йони и слабо подвижните (силно сорбируеми) натриеви и калиеви йони – Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ и K^+ .

Изследваните проби от пепелината са взети от изградения проучвателен сондаж в тялото на сгуроотвала. Проба № 1 е взета от дълбочина 1.0-1.5 m, а проба № 2 – от интервала 4.0-4.5 m. При подготовката на изходния индикаторен разтвор е използвана дестилирана вода, в която е разтворено определени количества натриев сулфат (Na_2SO_4) и калиев хлорид (KCl). Входните концентрации c_0 на Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ и K^+ са посочени в Таблица 2. В същата таблица са представени и данни за геометричните характеристики на вградените проби (дължина на пробите и радиусите на колоните), скоростите на филтрация v и фоновите концентрации c_b .

Таблица 2

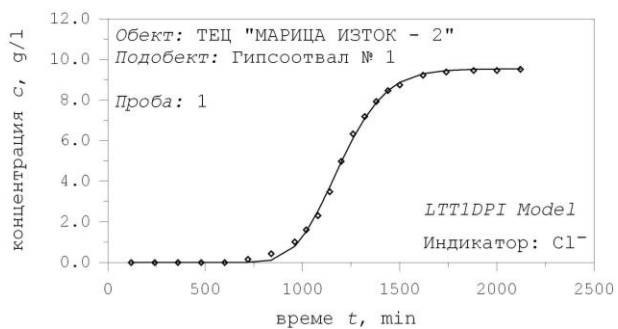
Данни за условията за провеждане на опитите

Проба №	ПРОБА № 1		ПРОБА № 2	
Колона №	колона 1		колона 2	
Дължина на пробата x , m	0.12		0.12	
Радиус на колоната r , m	0.008		0.008	
Скорост на филтрация v , m/d	0.132		0.141	
Индикатор (замърсител)	c_0 , g/l	c_b , g/l	c_0 , g/l	c_b , g/l
Cl^-	9.528	0.00	9.856	0.00
SO_4^{2-}	10.190	0.00	10.459	0.00
Na^+	4.695	0.00	4.826	0.00
K^+	10.485	0.00	10.862	0.00

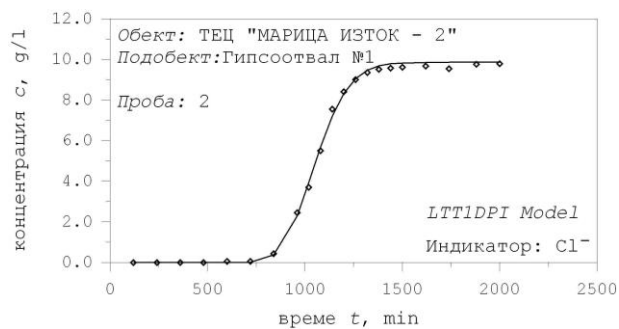
В хода на всеки опит през различни времеви интервали са вземани водни проби в обем от около 1-3 cm^3 . Физичните и хидрохимичните характеристики на взетите проби са определени електрометрично (за температурата и специфичната електропроводимост), титрометрично (за концентрациите на Cl^- и SO_4^{2-}) и с помощта на плазмен спектрометър ICP (за концентрациите на Na^+ и K^+).

За идентифициране на миграционните характеристики на изследваните проби получените експериментални зависимости, описващи изменението на концентрациите на Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ и K^+ във времето $c(t)$, са интерпретирани с програма LTT1DPI. На фиг. 1-8 опитните данни са илюстрирани с ромбчета. На същите фигури с пълтна линия са представени и получените с програма LTT1DPI идентификационни (апроксимирани) криви.

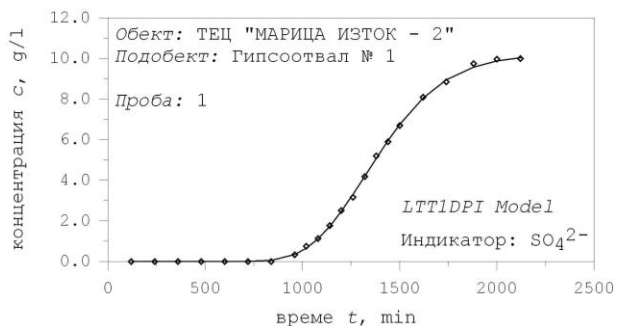
Изчислените за всяка проба и спрямо съответния индикатор стойности на n_s и на α_L са дадени в Таблица 3.



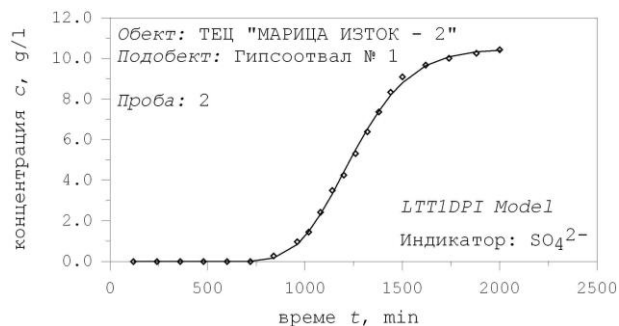
Фиг. 1. Филтрационна колонна 1. Индикатор Cl^-



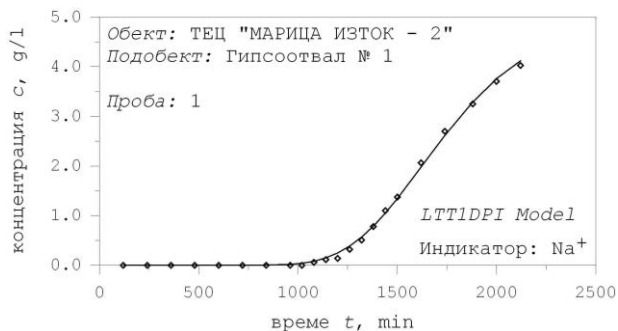
Фиг. 5. Филтрационна колонна 2. Индикатор Cl^-



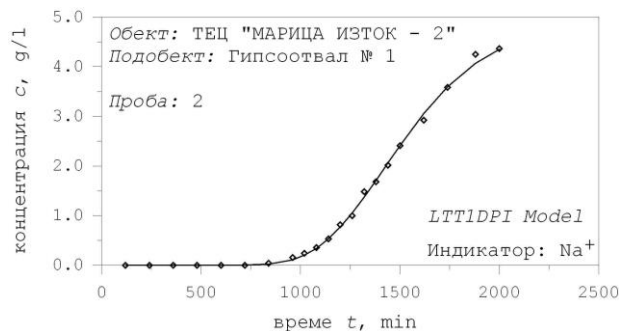
Фиг. 2. Филтрационна колонна 1. Индикатор SO_4^{2-}



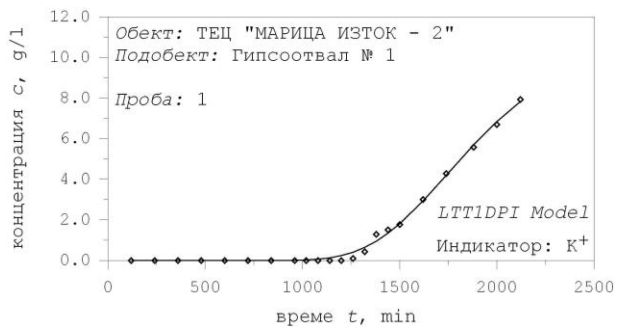
Фиг. 6. Филтрационна колонна 2. Индикатор SO_4^{2-}



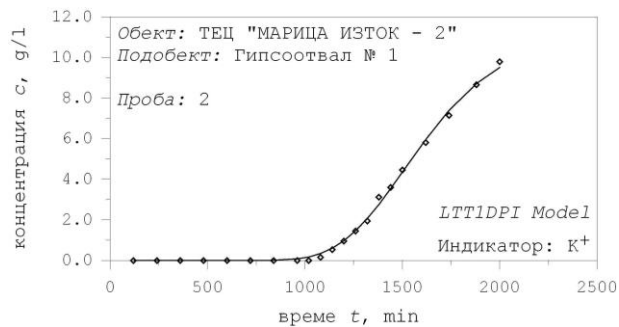
Фиг. 3. Филтрационна колонна 1. Индикатор Na^+



Фиг. 7. Филтрационна колонна 2. Индикатор Na^+



Фиг. 4. Филтрационна колонна 1. Индикатор K^+



Фиг. 8. Филтрационна колонна 2. Индикатор K^+

Таблица 3

Резултати от интерпретацията на опитните данни

Проба №	Проба № 1		Проба № 2	
Колона №	колона 1		колона 2	
Индикатор (замърсител)	n_s , -	α_L , m	n_s , -	α_L , m
Cl ⁻	0.92	0.002	0.86	0.001
SO ₄ ²⁻	1.07	0.003	1.03	0.002
Na ⁺	1.34	0.004	1.26	0.003
K ⁺	1.45	0.006	1.32	0.004

Обсъждане на резултатите

Идентификационните криви добре описват данните от лабораторните опити. За миграционните параметри се получават добри и логични резултати. Това се отнася особено за стойностите на сорбционната порестост n_s , които нарастват от по-едрият към по-дребните материали. Стойностите на надлъжната дисперсивност не следват подобна зависимост, но α_L в много по-голяма степен се влияе от точността при определянето на концентрациите. По принцип α_L се определя доста трудно чрез дребно мащабни индикаторни опити, особено от експерименти, провеждани в лабораторни условия.

Представените в Таблица 3 данни за миграционните характеристики на пепелината от Гипсоотвал № 1 на обект ТЕЦ "Марица изток 2" дават основание да се направи следния коментар:

- Пепелината притежава голяма способност да задържа вещество. Сорбционната порестост n_s за несорбируемите и много слабо сорбируемите аниогенни индикатори (Cl⁻ и SO₄²⁻) е по-висока от общата порестост n на изследваните проби и много по-висока от тяхното гравитационно водоотдаване. Докато средната стойност на n е около 0.70, то експериментално получените стойности за n_s варират в диапазона от 0.86 до 1.07. При това за сорбционната порестост за най-подвижните замърсители (Cl⁻) може да се приеме една средна стойност $n_s = 0.89$, а за по-слабо подвижните замърсители SO₄²⁻ – $n_s = 1.05$. Очевидно пепелината е в състояние частично да задържа механично и инертните (практически невзаимодействащите с твърдата фаза) хлоридни и сулфатни йони. Ето защо, е неуместно в тези условия Cl⁻ да се използва като еталон за определяне на активната порестост на средата.
- Катиогенните индикатори (Na⁺ и K⁺) се сорбират от филтрационната среда, независимо от състава и степента на нейната дисперсност, и мигрират по-бавно от аниогенните индикатори. Експерименталните резултати показват, че средната сорбционна порестост на пепелината за Na⁺ е $n_s = 1.30$, а за K⁺ – $n_s = 1.38$. Следователно фронтът на

интензивното замърсяване, който се маркира от поведението на слабо подвижните замърсители, в случая ще се движи с около 1.5 пъти по-бавно от фронтът, детерминиращ максималния обхват на възможното замърсяване.

- Получените стойностите за надлъжната дисперсивност α_L при двата опита и независимо от използвания индикатор са доста ниски – от порядъка на няколко милиметра. Това най-вероятно е свързано с малкия мащаб на миграционните изследвания.

Заклучение

Получените стойности за миграционните характеристики могат да се използват не само за оценка и прогноза за размерите и степента на възможното замърсяване на подповерхностното пространство в района на Гипсоотвал 1 на ТЕЦ "Марица изток 2". С известен резерв те имат универсален характер и е уместно да се ползват при моделиране на условията за разпространение на замърсителите в зоната на аерация и в други индустриални райони, където в горната част на разреза са установени насипи от пепелина. Същите биха били полезни и при решаване на по-широк кръг екологични задачи при различни по вид замърсявания.

Литература

- Бочев, Ф. М., Н. Н. Лапшин, А. Е. Орадовская. 1979. *Защита подземных вод от загрязнения*. М., Недра.
- Веригин, Н. Н. (ред.). 1977. *Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород*. М., Недра.
- Гълъбов, М. М. 1979. Динамика загрязнителей в водоносном пласте при переменной интенсивности загрязнения на границе. – В: *Wissensch. Konf. Simul. Migration im Grundwasser*, Dresden.
- Гълъбов, М. М. 1983. *Динамика на подземните води*. С., Техника.
- Гълъбов, М., П. Пенчев. 1986. *Решаване на приложни хидрогеоложки задачи с помощта на ЕИМ*. С., Техника.
- Лукнер, Л., В. М. Шестаков. 1986. *Моделирование миграции подземных вод*. М., Недра.
- Мироненко, В. А., В. Г. Румынин. 1986. *Опытно-миграционные работы в водоносных пластах*. М., Недра.
- Пенчев, П., Б. Великов. 1979. Методически особености на лабораторните определения на някои основни физикохимични и хидродинамични параметри на замърсителите в подземните води. – *Хидротехника и мелиорация*, 10, 22-24.
- Стоянов, Н. 2003. *Оценка и прогнозиране на замърсяването на подземните води от депа за твърди битови отпадъци*. Дисертация, С., МГУ "Св. Иван Рилски", 215 с.
- Стоянов, Н. 2006. Идентификация на миграционните параметри на порестата среда по данни от лабораторни опити в колони. – *Сп. "БУЛАКВА"*, бр. 1.
- Brown, K. M., J. E. Dennis. 1972. Derivative free analogues of the Levenberg-Marquardt and Gauss algorithms for

- nonlinear least squares approximations. – *Numerische Mathematik*, 18, 289-297.
- Garabedian, S. P., L. W. Gelhar, M. A. Celia. 1988. *Large-scale dispersive transport in aquifers: Field experiments and reactive transport theory*. Rep. 315, Ralph M. Parsons Lab. for Water Resour. and Hydrodyn., Mass. Inst. of Technol., Cambridge.
- Gelhar, L. W., C. Welty, K. R. Rehfeldt. 1992. A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. – *Water Resour. Res.*, 28, 7, 1955-1974.
- Harpaz, Y. 1965. Field experiments in recharge and mixing through wells, Underground Water Storage. – *Study Tech. Rep.* 17, Publ. 483, Tahal-Water Plann. for Israel, Tel Aviv.
- Kinzelbach, W. 1986. *Groundwater Modelling - An Introduction and Sample Programs in BASIC*. Elsevier, Amsterdam.
- Marquardt, D. W. 1961. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. – *Journal Soc. Ind. Appl. Math.*, 2, 431-441.
- Papadopoulos, S. S., S. P. Larson. 1978. Aquifer storage of heated water; II, Numerical simulation of field results. – *Ground Water*, 16, 4, 242-248.
- Sauty, J. P., W. Kinzelbach. 1988. On the identification of the parameters of groundwater mass transport. – *Groundwater Flow and Quality Modelling, NATO ASI Series, E. Custodio et al. (Ed.)*, 33-56.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Хидрогеология и инженерна геология", ГПФ

ASPECTS OF TECHNICAL PROGRESSES IN ROMANIAN PETROLEUM INDUSTRY IN THE INTER-WAR PERIOD: DRILLING

Gheorghe Calcan

Petroleum-Gas University, Ploiești, România; calcan@xnet.ro

ABSTRACT. Petroleum has had an important role in the Romanian history and economy. Simultaneously with the quantity evolution of Romanian petroleum industry there had been registered also favorable quality results in different segments of these important economic branches. For example, in the drilling field the productivity recorded notable raises, the price of the drilled meter diminished between 1926 and 1936 with approximately 87% and the price of the extracted carload diminished in the same period with approximately 91%. The most important progresses in drilling were registered in the period of the economic crisis in 1929-1933. There were introduced the system of drilling by turns, the method of the unique column of tubage, the drilling was on direct lines, without deviations, the drilling speed of the well was increased, the use of the electric energy began, the amount of cement used for the realization of a well was decreased with 85-92% etc. Between the innovators who had an important role in the realization of this renewal we should mention a remarked person like the engineer Andrei Drăgunălescu. The Romanian drilling was at the highest points of the world technology, sometimes realizing innovations which were borrowed to the american technology.

АСПЕКТИ НА ТЕХНИЧЕСКИЯ ПРОГРЕС В РУМЪНСКАТА ПЕТРОЛНА ИНДУСТРИЯ В ПЕРИОДА МЕЖДУ ВОЙНИТЕ: СОНДИРАНЕ

Георге Калкан

Университет по нефт и газ, Плоещ, Румъния; calcan@xnet.ro

РЕЗЮМЕ. Нефът е играл важна роля в румънската история и икономика. Едновременно с количествената еволюция на румънската нефтена индустрия се отбелязват и благоприятни качествени резултати в различни сегменти на този важен промишлен клон. Например, при сондирането се отбеляза значителен обем и цената на метър сондаж между 1926 и 1936 г. се намали приблизително с 87%, а цената на изваден товарен обем – около 91%. Най-значителният напредък в сондирането се регистрира в периода на икономическата криза 1929-1933 г. В сондирането се въвеждат редица нововъведения. Между иноваторите, които имат важна роля при реализация на тези обновявания трябва да се спомене забележителен човек като инж. Андрей Драгуналеску. Румънското сондиране беше сред водещите в световната технология, създавайки понякога иновации, които са били възприети от американската технология.

Petroleum has represented one of the most important natural resources of Romania.¹ Being certificate from the Antiquity, it accompanied the economical and social life of the Romanian community during Medieval Age and Modern Age. Since the half of the 19th century, the petroleum exploration has worn the industrial cloth. The year 1857 marks a triple world première for Romanian petroleum industry: the first petroleum production, the first refinery and Bucharest the first town ever to be illuminated with petroleum, all registered on international level.² The refinery of 1957 has set up by the brothers M. and

T. Mehedințeanu from Ploiești, with Austrian equipment. The petroleum Industry has developed incessantly. In 1857 Romania's petroleum production has been of 225 t. towards the end of the nineteenth century it has grown spectacularly, reaching 258 000 t. up to the outbreak of the First World War the maximum production has been reached to 1 885 619 t, in 1913. After the war, in 1925, the level of production during the pre-war period has been exceeded (2 316 504 t). The production has continued to increase constantly, reaching 8 784 000 t in 1936, quantity which represented maximum of the inter-war period.

It is very important the fact that petroleum production developed not just from the point of view of the quantity but also from the point of view of quality. In the next pages, we are going to treat in a conceive manner the evolution of an important part of the Romanian petroleum industrial activity during the inter-war period: the oil well drilling.

Our most important sources of documentation was speciality press of the time, especially the Petroleum Monitor, information taken from the petroleum societies, and found out in the National Archives, and in the Romanian special literature.

¹ See Gh. Ivanus, I Stefanescu, St. N. Stirimin, St. N. Stirimiu, St. Tr. Mocuta, M.P. Coloja, *The history of Romanian Oil*, Agir Press, Bucharest, 2004; Gheorghe Buzatu, *A History of Romanian Oil*, Bucharest 1998; Constantin M. Boncu, *Contributions to the History of Romanian Oil*, Academic Press, Bucharest, 1971.

² Gheorghe Buzatu, *A History of Romanian Oil*, I, Mica Valahie Publishing House, Bucharest, 2004, 36-37; Gh. Ivanus, I Stefanescu, St. N. Stirimin, St. Tr. Mocuta, M.P. Coloja, *quoted work*, 66-77; Marian Rizea, Eugenia Rizea, *Petrol. dezvoltare si (in)securitate*, Editura Asociatiei "Societatea Inginerilor de Petrol si Gaze", Bucuresti, 2007, 43-45.

Concerning the oil well drilling of the inter-war period we can assert an interesting evolution. Immediately, after the end of the First World War, the Petroleum Monitor considered that the problem of digging of new wells was an important problem of the renewal of the petroleum industry.³ The activity evolution can be expressed by the following table⁴.

Year	Number of drilled meters
1922	38.527
1925	204.402
1928	240.000
1931	139.190
1932	208.369
1933	253.209
1934	376.950
1935	312.500
1936	329.000
1937	394.000
1938	288.000
1939	256.000

We can remark that the maximum number of drilled metres was registered in 1937: 394000. Comparing to 1921, when the number of drilled meters was 55857, the rise was more than 700 %.

Concerning the efficiency of the drilling activity we can have an image looking at then next table⁵ which gives a report upon the evolution of a report tone on drilled meter.

Year	The report tone on drilled meters
1922	15.3
1925	11.3
1928	17.7
1931	47.8
1932	35.3
1933	29.3
1934	21.2
1935	26.9
1936	26.5
1937	18.1
1938	23.00
1939	24.00

The highest efficiency of the report tone drilled meter, was registered in 1931, during the economical crisis when 47,8 tones on trilled meter were obtained. This fact has two explanations: during the crisis the number of the drilled meters diminished and the biggest decrease took place in 1931 on the one side and on the other side in the same period there were some rich oil land in a process of exploitation. We can consider, as a whole, that the efficiency of the drilling activity was a good one. It was even superior of the international one.

As an example, we are going to give a table⁶ in which we are going to present the dynamics of this report between 1932-1936, comparing Romania with U.R.S.S. in order to case a

dynamic following of the table, the presentation is realized by number rounding.

Year	Romania Efficiency t/drilled meters	URSS Efficiency t/drilled meters
1932	35	29
1933	29	26
1934	21	19
1935	27	17
1936	27	13

It can be seen that in Romania the number of tones on drilled meter was highest between 1932-1936 than in U.R.S.S, even with 2 to 14 tones.

If we are trying to compare the rise petroleum production and that of the drilled meter the report is favourable to the drilling activity. This thing is being illustrated in the next table⁷, taking for example 1931.

Year	Petroleum production total number	Total number of drilled linear meters
1931	100	100
1932	110	150
1933	111	182
1934	127	271
1935	126	225
1936	131	236
1937	107	183
1938	99	207
1939	94	184

The analysis of this table is showing the fact that in the 4th decade of the past century the drilled rise percentage was constantly superior to that of the petroleum production rise. In 1932 a number of 33 enterprises realised a drilling activity. "Astra Romana" Society, "Steaua Romana", "Concordia", "Unirea", "Romano-Americana" and "Creditul Minier", all of them drilled more than 10000 meters.

Concerning the drilling technique there happened a lot of important evolutions. In 1924 "Steaua Romaneasca" Society, practices through galleries. The process was practically the same as that of coal mines. A well is digged through the oil field and then through galleries there happened a process of capturing the oil. The process was an efficient one. Currently speaking, through drilling it was managed to put out about 20% of the petroleum deposit. Through the galleries method it happened the drilling of about 60% of the petroleum deposit. This process was used on the fields of Buzau Department, at Saratu ***. The depth of the digged well was of 141 meters. The society had as main objective for the next year to introduce this process in the Prahova Department, in Campina. The petroleum gazette was estimating that such a process was proper for other oil field of the country, such for example Bustenari.

Abroad, this method was used also in Alsace⁸. Even if this method didn't have a great spreading and didn't become an

³ Movement of Oil. General Situation, Moniteur du petrole roumain, (M.P.R.) 9, 1 May 1920, 253.

⁴ Gheorghe Calcan, *Romanian Petroleum Industry in the inter-war period*, Tehnica, Publishing House Bucharest, 1997, 138.

⁵ *Ibidem*.

⁶ See M.P.R, 17, 1937, 1318.

⁷ *The activity on sites of anonym societies in 1936*, M.P.R, 13, 1 july 1940, 709-721.

⁸ *Gas Exploration through hollows*, M.P.R, 10, 1929, 856.

usual method, it had a very important role in the field of the petroleum industry efficiency.

After all statistics, the period of 1927-1933 was important because there were registered many qualitative transformations in the field of drilling. The great economical crisis of 1929-1933 influenced this processes. In 1929, The Petroleum Industry Association of Romania addressed to the Industry Minister a memorial which asked for the approval of the drilling system named Rotary used in U.S.A. this system used a simplified system, being accompanied by similar operations concerning cementing. This system brought important savings of materials and contributed to a efficiency rise through the price reduction of drilling⁹. There is a fragment, of this memorial:

Minister,
American petroleum industry, after great progresses, which realised during the last years in the field of drilling art, reached to diminish to much the drilling price and indirectly the petroleum production cost.

This thing was realised by drilling more and more with the Rotary system, by using a very tubage program simple accompanied by casing cementing but also it developed because of mine authorities participation. The Romanian Petroleum industry is in the situation that if it doesn't get the same technical progresses as U.S.A, and if it doesn't reach an oil production price as that of U.S.S, it won't be able to maintain its place on the international market. [...]

What we are asking by this memorial is to allowed to work in the same way as in U.S.A....". After three years approximately 99% of the total drilled meters, were obtained through this method¹⁰.

In 1931, the engineer A. Dragulanescu, the director of "Steaua Romana" Society presented during the "Engineers and Technicians Associations of the Mine Industry Congress" a method of using unique tubage column in the well field¹¹. Dragulanescu's innovations: drilling on right hole, without deviations reductions of the column number etc. concurred to the same economical saving of 50% drilled linear meters¹².

We have obtained important successes in the derrick drilling speed. Around 1932/1933 the oil societies were reporting an average of 30-80 straight meters digged per day. Derricks of 1800 meters depth were dug within 2 months. When we managed to dig derricks in a record time (21 days, for example) even the American magazines mentioned that. The record in the drilling field has been attained by the Unirea Society which dug 395 meters in 22 hours with an average speed of 17.90 m/hour. Usually, the derricks deep of 800-1000

meters were dug in 2 months. Each year hundreds of derricks were dug (in 1926, 671 were dug). The deepest derrick was dug in 1932 by the Romanian Star Society, with a depth of 2434 meters. In 1936 the deepest productive derrick in USA had 2936 meters. In 1932, the number of the employees in the oil sites consisted of 250 engineers, 626 clerks, 581 workover team leaders, 4342 roughnecks, 3669 mechanics and qualified workers, 4636 day-laborers and watchmen, with a total of 13904 people¹³.

Among the progresses of the Romanian oil industry in the inter-war period we must highlight the extension of the electric power. At the International Oil Congress from London in 1933, 2 representants of the Romanian oil industry presented the method of the electric sampling which was used to determine the nature of the strata which had to be dug. In 1932 electric power was used for 22.5% of the total drilling process to be executed¹⁴.

We couldn't neglect the application of those innovations which led to the diminution of the cement quantities. In 1936, using the tubing system initiated by the engineer A. Dragulanescu, we managed to use only 30-60 kg of cement when tubing a derrick, compared to 380 kg in 1926. This cheap tubing method began to be used in USA as well¹⁵.

In 1926-1936, the efficiency of the oil extracting is proved by the diminution by 87% of the costs for each drilled meter and by 91% of the oil barrel extracted¹⁶. The next table¹⁷ illustrates that phenomenon:

Year	The cost on drilled linear meters in lei	The cost on oil barrel extracted in lei
1925	17.800	13.100
1927	15.400	12.300
1928	13.400	5.800
1929	10.400	5.850

¹³ *Record de viteza in Romania cu forajul rotativ*, M.P.R. 13, 1 july 1933, 762; *Solutiuni in chestia transporturilor*, M.P.R. 7, 1 april 1926, 601-902; *Technical Processies realized in well drilling at high depth*, Societatea Steaua Romana, MPR, 13, july 1933, 762, E.Fischer, *Technical Industrial Cronique of World Petroleum*, in 1936, MPR, 1, 1937, 13-22; *Rezultatele actiunii de foraj in Romania. Productia perimetrelor statului cuvenite pe anul 1932*, MPR, 6, 15 march 1933, 267-285; *Extractia titeiului si actiunile de foraj pe santiere in cursul anului 1932*, MPR, 7, 1 april 1933, 327-343.

¹⁴ E. Fischer, *Aplicarea carotajului electric roman in anii 1931-1932*, MPR, 15, 1st august 1932, 861-864; *Energia electrica pentru forajul rotativ in Romania*, MPR, 14, 15 july 1933, 772-773.

¹⁵ A. Dragulanescu, *Romanian Petroleum Industry in front of the crisis*, MPR, 8, 1937, 587-589, *Modificari in cimentarea coloanelor de tubaj cerute de Asociatia Industriasilor de petrol*, MPR. 15, 1937, 1227.

¹⁶ Gh. Calcan, *quoted work*, 141.

¹⁷ *Romanian Petroleum Industry in front of the crisis*, MPR, 8, 1937, 587-589. An appropriate report can be also observed in the next work: Gh. Ivanus, I. Stefanescu, St. N. Stirimin, St. Tr Mocuta, M.P. Coloja, *quoted work*, 251.

⁹ *Simplifying Drilling Programs*; M.P.R., 10, 1929, 856.

¹⁰ Here there is a table in which we can analyse the percentage of used methods in Romanian industry in 1931, number of wells and drelled meters in various systems in 1931.

¹¹ E. Fischer, *Applying electrical character in Romania between 1931-1932*, M.P.R., 15, 1 august 1933, 861-864.

¹² *Reduction of Cost Drilling*, M.P.R., 1, 1 January 1930, 55-56. See Gh. Ivanus, I. Stefanescu, St. N., Stirimin, St. Tr. Mocuta, M.P. Coloja, *quoted work*, 251.

1930	7.700	4.250
1931	7.000	2.000
1932	4.900	1.320
1933	4.600	1.300
1934	3.800	1.270
1935	3.100	1.060
1936	2.300	1.080

A special regulation without any precise terms regarding the drilling process: a derrick should be placed at least 30 meters from the border of the estate of a society located in between derricks and which had offices whose minimum distance was of 60 meters in the regions without eruptions and of 1000 meters in the places with eruptions¹⁸.

The progress made by the Romanian drilling field made that this branch of activity of the Romanian oil industry be situated at the highest technical level. The Romanian drilling has been compared to the one in USA, which was used as inspiration sometimes and from which it took interesting solutions that imposed themselves internationally, inspiring the American technique. The Romanian specialists appreciated that the explanations to this situation should include the numerous trainings that the Romanian technicians underwent out of the country and in Venezuela.

"The Romanian sites became the meeting place of many specialists from various countries who wished to become familiar with this job"¹⁹. Concerning the Romanian petroleum industry, we should also mention the First International Congress of Drilling which took place in Bucharest in 1925²⁰. In 1940, George Macovei, a very important geologist. Sustained a discourse at The Romanian Academy dedicated to many technicians, specialists and workers who contributed to the

¹⁸ *An incipient of mine police*, MPR, 6, 15 March 1926, 569-571.

¹⁹ Gh. Ivanus, I. Stefanescu, St. N. Stirimin, St. Tr Mocuta, M.P. Coloja, *quoted work*, 255.

²⁰ E. Ficher, *World Industrial Progresses...*

development of the Romanian industry: "The most important role of the Romanian technician was established during the economical crisis period of 1930."

On one hand there was a catastrophical crisis of international petroleum prices and on the other hand, there was very difficult to drill at a high depth and even there was a danger to loose some deposit. Without a fast solution and with a critical moment of the petroleum industry there was found only one solution: to reduce the cost price. And again the Romanian technician found out the proper way to escape the crisis applying in the technical field of drilling the unique column system. In this way a low cost was achieved and also a reduce waste of material and time. From this point of view the Romanian industry was an example for this other countries because they adopted the Romanian technique, all explorations becoming profitable²¹.

Romanian drilling is considered to have had a progressive evolution of all proceedings: the petroleum processing, the petroleum use²², and the innovation.

By its production and its geographical position Romania had a special place in the petroleum map of the world but especially of Europe. In the same time petroleum had been an important element of the modern society during the interwar period.

Recommended for publication by the Department of Drilling and Production of Oil and Gas, Faculty of Geology and Prospecting

²¹ G. Macovei, *La contribution roumanie a la connaissance du petrole*, MPR., 15, 1st august 1940, 841-845.

²² See Gheorghe Calcan, *Aspects of Romanian Petroleum Industry in the Inter-War Period*. – Annual of University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, part IV, Humanitarian and Economics Sciences, 2005, 37-41.

BACTERIAL LEACHING OF BLACK SHALE COPPER ORE

Stoyan N. Groudev, Irena I. Spasova, Marina V. Nicolova, Plamen S. Georgiev

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

ABSTRACT. Black shale fraction of copper ore from the Lubin deposit, Poland, was leached in percolation columns initially by means of sulphuric acid and then by means of mixed culture of mesophilic, acidophilic, chemolithotrophic bacteria. The fraction contained 6.64 % copper, 3.05 % sulphur, 315 g/t silver, 10.94 % organic carbon and 22.5 % carbonates. Leach solutions containing ferric ions, sulphuric acid, dissolved oxygen and bacteria were used to irrigate the ore at rates between 40-120 l/ton. 24 hours. 80.2 % of the copper was leached within 150 days in this way. Copper was recovered from the pregnant solutions by means of cementation with metallic iron and cement copper concentrates containing about 82 % copper were obtained in this way. After the acidic leaching, the ore fraction was washed with water and was subjected to thiosulphate leaching to soluble silver. 51.6 % of this metal was leached within 30 days. The silver was recovered from the pregnant solutions by means of cementation with metallic zinc.

БАКТЕРИАЛНО ИЗЛУГВАНЕ НА МЕДНИ РУДИ, СЪДЪРЖАЩИ ЧЕРНИ ШИСТИ

Стоян Н. Грудев, Ирена И. Спасова, Марина В. Николова, Пламен С. Георгиев

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

РЕЗЮМЕ. Фракция черни шисти от медна руда от находище Любин, Полша, бе излужена в перколационни колони първоначално посредством сярна киселина и после посредством смесена култура на мезофилни, ацидофилни хемолитотрофни бактерии. Фракцията съдържаше 6.64 % мед, 3.05 % сяра, 315 г/т сребро, 10.94 % органичен въглерод и 22.5 % карбонати. Излугващи разтвори, съдържащи фери-йони, сярна киселина, разтворен кислород и бактерии, бяха използвани да оросяват рудата със скорости между 40-120 л/т. 24 часа. 80.2% от медта бе излужена за 150 дни по този начин. Медта беше извлечена от продукционните разтвори посредством циментация с елементарно желязо (Fe^0) и по този начин бяха получени циментационни медни концентрати, съдържащи около 82 % мед. След излугването в кисела среда рудната фракция бе промита с вода и бе подложена на излугване с тиосулфат, за да се разтвори среброто. 51.6 % от този метал бяха излужени за 30 дни. Среброто бе извлечено от продукционните разтвори посредством циментация с елементарен цинк (Zn^0).

Introduction

The black shale ore in the Lubin deposit, Poland, is an important source of some valuable metals, mainly copper and silver. At present, this ore is processed in commercial scale by flotation, as a result of which concentrate containing these metals is produced. However, the mineralogical composition and structure of this ore cause some problems to this way of treatment and this is the reason for studies on the possibility to process the ore by means of technological methods of different type. A special attention with this respect is paid to different hydrometallurgical methods, including such based on the action of microorganisms. Experiments for bioleaching of copper from the run-of-mine Lubin ore, from different mineralogical fractions of this ore, as well as from products and wastes from its processing have been carried out under laboratory conditions using both chemolithotrophic and heterotrophic microorganisms (Sklodowska et al., 1996; Sadowski et al., 2003; Farbiszewska-Kiczma et al., 2004; Groudev et al., 2006).

The present paper contains data about experiments on the different technological stages of a flowsheet connected with the processing of the run-of-mine Lubin ore: bioleaching of copper by means of acidophilic chemolithotrophic bacteria, recovery of copper from the pregnant solutions by means of

solvent extraction and electrowining, leaching of silver from the washed ore by means of thiosulphate, and recovery of silver from the pregnant solutions by means of cementation with metallic zinc (Zn^0).

Materials and methods

The sample of the run-of-mine Lubin ore used in this study contained 1.01% copper, 82 g/t silver, 1.19% sulphur, 1.2% organic carbon and 22.5% carbonates. Chalcocite was the main copper-bearing mineral in the ore but bornite, chalcopryite, thenantite and covellite were also well present. Copper oxide minerals and pyrite were present in low quantities. The copper sulphides formed accretions with the host rock and were encapsulated in it. The sample had pH of 7.98 and was characterized by a highly positive net neutralization potential (+406 kg CaCO_3/t).

Eight kg of the ore crushed to minus 8.0 mm were put into a plastic vessel to form a small heap (~ 30 cm long, 12 cm wide and 12 cm high). Data about the particle size of the ore are shown in Table 9. An aeration system consisting of several perforated plastic tubes was constructed in the vessel before adding the ore. The ore was supplied to the vessel in a way

that after the heap construction the aeration system was located inside the ore mass.

The ore was initially pretreated with sulphuric acid to decompose the carbonates and liberate the sulphide minerals from the carbonate matrix as well as to facilitate the adjustment of the ore pH to the levels suitable for the growth and activity of the acidophilic chemolithotrophic bacteria able to oxidize sulphide minerals. During the acidic pretreatment the carbonate content of the ore was decreased from the initial 22.5% to 1.7% and as a result of this the net neutralization potential of the ore was decreased from highly positive to very close to the neutral point (+2 kg CaCO_3/t). The acid consumption during the pretreatment amounted to 408 kg sulphuric acid/t ore. Approximately 18% of the copper was solubilized during the pretreatment within 48 hours. The carbonate and oxidizable mobility fractions were the main sources of the copper solubilized. Chalcocite was the only sulphide mineral solubilized efficiently during the pretreatment.

The acid pretreated ore was inoculated with a mixed culture of acidophilic chemolithotrophic bacteria (*At. ferrooxidans*, *At. thiooxidans* and *L. ferrooxidans*) preliminary adapted to the ore. 200 ml of active late-log-phase microbial culture containing about 10^9 cells/ml grown on this ore was used as inoculum and was distributed evenly within the heap by means of diluted sulphuric acid solution with pH of 1.5 and containing Fe^{2+} ions (2 g/l) as well as ammonium and phosphate ions. The water content of the heap was adjusted to about 70-80 % from the maximum water retention capacity of the ore. Water-saturated air was injected through the aeration system to the ore by means of a small compressor to maintain the content of dissolved oxygen in the pore solution at levels higher than 5 mg/l. The wetted heap was maintained under such conditions for a period of 10 days during which most bacteria attached to the ore particles and started to oxidize the sulphide minerals. At the end of this period the ore was densely populated by bacteria, the redox potential of the pore solution was increased to about 570 mV and some copper and iron were solubilized from the ore.

Then the irrigation of the ore was started by diluted sulphuric acid solutions with a pH of about 1.7-1.8. The irrigation rate was in the range of 40-80 l/t ore per 24 h. The leach solutions were distributed evenly on the ore surface by means of perforated plastic tubules located on it. The aeration of the ore was continued and the content of ammonium and phosphate ions was maintained at 50 and 25 mg/l respectively, by means of periodic additions of these ions to the leach solutions.

Two different methods to recover copper from the pregnant heap effluents were used: cementation with metallic iron (Fe^0) and solvent extraction + electrowinning.

The cementation process was carried out in glass vessels containing 200 g of iron shavings each. The copper-bearing solutions containing between 0.5–1.5 g/l copper ions were added at rates allowing residence times between 1–3 hours.

The solvent extraction of copper from the pregnant heap effluents was carried out by means of the reagent LIX 984N (10 volume percent in a kerosene diluent). The solvent extraction circuit consisted of two extraction stages and one stripping stage. The organic phase (reagent) and the aqueous phase (pregnant copper-bearing solution) were mixed at a 1:1 ratio. Mixing time of 3 minutes was needed to obtain loaded organic (approximately 80 % of the maximum loading capacity of the reagent). The loaded organic was separated from the aqueous phase and was subjected to stripping by means of strong solution of sulphuric acid. The copper transfer in the electrolytic cell was between 5-7 g/l copper. The final pregnant electrolyte was treated in the electrowinning cell in which the anodes were made of lead, and the cathodes were made of copper. Current density applied in the cell was between 200–230 amperes/m². The spent electrolyte contained about 30 g/l copper and 180–185 g/l sulphuric acid and was recycled to the stripping stage.

After the acidic copper leaching the heap was washed with water to remove the residual acidity and was subjected to alkaline leaching by means of solutions containing thiosulphate ions (added as ammonium thiosulphate) – 0.1 mol/l, copper ions (added as copper sulphate) – 0.005 mol/l, sulphite ions – 0.01 mol/l and ammonia to maintain the pH of these solutions in the range of 10.0-10.5.

The leach solutions were pumped to the top surface of the heap at a rate of 200 l/ton ore per 24 h. The solutions percolated through the ore mass and dissolved silver. The pregnant heap effluents were treated by means of cementation with metallic zinc to precipitate the dissolved silver. The depleted solutions from the cementation unit were collected in a regeneration vessel where make up water and reagents were added to the desired level. The leach solutions adjusted in this way were then recycled to the heap.

Measurement of ion concentrations in solutions was carried out by means of induced coupled plasma spectrometry. The isolation, identification and enumeration of microorganisms were carried out by methods described elsewhere (Groudev, 1990; Karavaiko et. al., 1988).

Results and discussion

The leaching of copper by the above-mentioned system was very efficient and 68% of the copper were solubilized within 150 days (Fig. 1). This amount, together with the 18% of copper solubilized during the acidic pretreatment of the ore, resulted in a final copper extraction of 86.4%. The concentration of copper in the pregnant heap effluents was usually between 0.5 and 1.0 g/l. Iron was solubilized together with copper during the leaching. Bacteria were able to maintain most of the iron in the ferric state and the redox potential of the pregnant solutions was usually higher 550 mV.

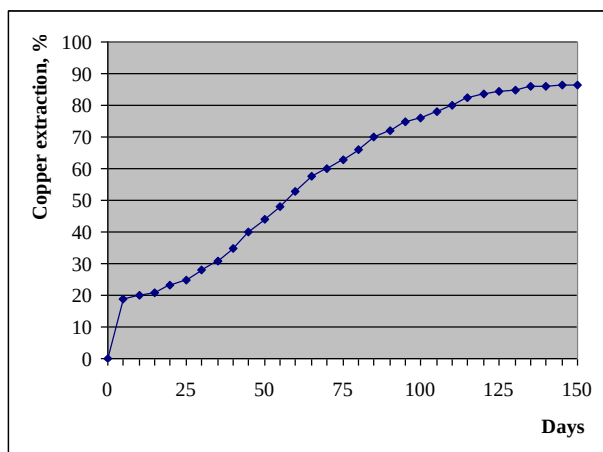


Fig. 1. Leaching of copper from the R-O-M Lubin ore

In some cases the concentration of iron in these solutions was low (less than 0.3-0.4 g/l). In these cases the heap was irrigated with leach solutions containing 1.5-2.0 g/l Fe^{3+} ions generated in bioreactor as a result of the bacterial oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} ions by means of immobilized Fe^{2+} -oxidizing chemolithotrophic bacteria (*At. ferrooxidans* and *L. ferrooxidans*). Non-ferrous metals, mainly zinc and nickel, were also solubilized during the leaching but due to their low contents in the ore this solubilization is not of an economic interest. Lead was not solubilized but bacteria oxidized a portion of galena to the insoluble lead sulphate. Silver was also not solubilized. Its content in the ore after the acidic leaching was increased to 99 g/t due to the solubilization of other components (Table 1)

Table 1
Data about the chemical composition of the R-O-M Lubin ore at different stages of treatment

Component, %	Before treatment	After acidic pretreatment	After bioleaching
Copper	1.01	0.82	0.14
Total sulphur	1.19	1.37	0.25
Sulphide sulphur	0.93	0.91	0.16
C organic	1.2	1.5	1.4
C inorganic	10.2	0.37	0.08
Silver, g/t	82	96	99

The efficient leaching of the ore was connected with the suitable conditions created for the chemolithotrophic bacteria in the heap. The number of these bacteria in the heap was higher than 10^9 cells/g ore and that in the pregnant heap effluents varied between 10^8 – 10^9 cells/ml. In most samples tested during the leaching *L. ferrooxidans* was the prevalent microorganisms and this was due to its ability to grow well under very acidic conditions (at $\text{pH} < 1.8$). However, *At. ferrooxidans* was also well present and this was connected with its ability to oxidize, apart from Fe^{2+} ions, also the copper sulphide minerals.

The recovery of copper during the cementation exceeded 98%, and the content of copper in the cement concentrate was about 81–82%.

The cementation was connected with increase in the concentration of iron in the barren solutions (usually by 20–40 %). Most of the iron in these solutions was in the ferrous state due to the reaction between the Fe^{3+} ions in the pregnant effluents and the metallic iron. This resulted in decrease of the redox potential of the barren solutions to values lower than 350 mV. The pH of the barren solutions was increased to values higher than 2.0 due to the reaction between the sulphuric acid present in the pregnant solution and the metallic iron. For these reasons it was necessary to treat the barren solutions from the cementation in a way to turn them into efficient leach solutions. This was connected with increase of the concentration of Fe^{3+} ions and redox potential by mixing the barren solutions with solutions from the bioreactor for oxidation of Fe^{2+} to Fe^{3+} ions. The solutions from the bioreactor were characterized by high redox potential ($> 550 - 600$ mV), low pH (< 1.9) and high content of bacteria (usually between 1.10^8 – 3.10^8 cells/ml). In some cases diluted sulphuric acid solutions were added to compensate the water losses due to evaporation, to decrease pH to values between 1.7–1.8 and to decrease the total concentration of dissolved iron.

The consumptions of metallic iron during cementation amounted to about 2.0 – 2.2 g Fe^0 /g copper.

Copper with purity higher than 99.5% was produced in the electrolytic cell.

The leaching of silver from the ore after the acidic leaching was not very efficient. 51.2% of this precious metal was leached within 30 days (Fig. 2).

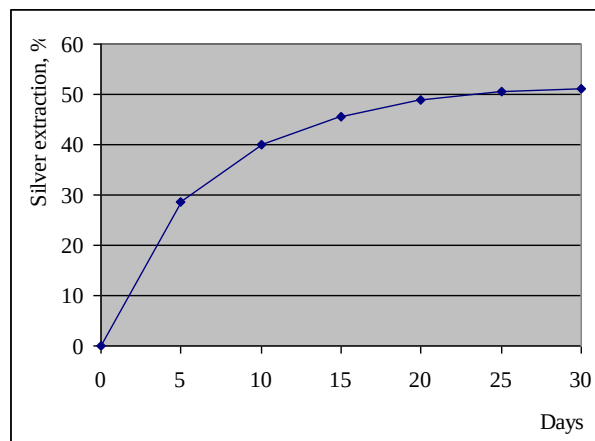


Fig. 2. Leaching of silver from the R-O-M Lubin ore by means of thiosulphate after its acidic leaching of copper

The degree of silver extraction from the pregnant solutions by means of cementation with Zn^0 was higher than 95%. The product from the cementation unit was silver concentrate, which contained also copper and zinc as valuable components. This concentrate can be processed by the well-known conventional methods for recovering pure silver.

The consumption of reagent during the leaching and cementation of silver amounted to 5.3 kg ammonium thiosulphate, 0.5 kg copper sulphate and 0.14 kg metallic zinc per ton of ore.

Similar extraction of silver was obtained by two other leaching methods: cyanidation and treatment by solutions containing hydrochloric acid and sodium chloride.

The final conclusion from this study is that the run-of-mine Lubin ore is suitable for recovering copper by means of acidic bioleaching with chemolithotrophic bacteria. However, the extraction of silver by means of different methods is not acceptable from an economic point of view. A more realistic approach involving the biotechnology as a component of the processing flow sheet is the bioleaching of flotation concentrate obtained from the same ore for copper solubilization and then chemical leaching of the solid residue for silver solubilization.

Acknowledgements. This work was financially supported by the European Commission under the project BIOSHALE "Search for a Suitable Way of Exploiting Black Shale Ores Using Biotechnologies".

References

- Farbiszewska-Kiczma, J., T. Farbiszewska, M. Bak. 2004. Bioleaching of metals from Polish black shale in neutral medium. – *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 38, 273-280.
- Groudev, S. N. 1990. *Microbiological Transportations of Mineral Raw Materials*. Doctor of Biological Sciences Thesis, University of Mining and Geology, Sofia.
- Groudev, S. N., I. I. Spasova, P. S. Georgiev, M. N. Nicolova, S. G. Bratkova. 2006. Bioleaching of Polish black shales. – In: *Perspectives for Applying Bioleaching Technology to Process Shale-bearing Copper Ores* (Ed. A. Antoniuk), KGHM Cuprum, Wrocław, 79-94.
- Karavaiko, G. I., G. Rossi, A. D. Agate, S. N. Groudev, Z. A. Avakyan, Eds. 1988. *Biogeotechnology of Metals. Manual*, GKNT Center for International Projects, Moscow.
- Sadowski, Z., E. Jazdyk, H. Karas, 2003. Bioleaching of copper ore flotation concentrates. – *Minerals Engineering*, 16, 51 -53.
- Sklodowska, A., R. Matlakowska, J. Ludwig. 1996. Unusual bacterial strain closely related to *Bacillus insolitus*. – *Acta Microbiological Polonica*, 45, 131-141.

Recommended for publication by the Department of
Engineering Geoecology, Faculty of Geology and Prospecting

BIOLOGICAL AND CHEMICAL LEACHING OF NON-FERROUS AND PRECIOUS METALS FROM ELECTRONIC SCRAP

Stoyan N. Groudev, Irena I. Spasova, Marina V. Nicolova, Plamen S. Georgiev and Anatoli T. Angelov

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

ABSTRACT. A sample of mixed electronic scrap from different sources was milled to a particle size less than 100 microns and was subjected to leaching by means of different leach solutions in reactors with mechanical stirring. The best results were achieved when the scrap was initially leached by means of acidified ferric sulphate solutions to solubilize the non-ferrous metals (mainly copper, zinc, and nickel). These solutions were generated as a result of the oxidation of ferrous ions in bioreactor with immobilized chemolithotrophic bacteria. Metal extractions over 98 % were achieved within 120 hours of leaching by means of such solutions. The dissolved metals can be recovered by means of solvent extraction/electrowinning or by means of precipitation as the relevant sulphides. The solid residue after the acidic leaching was washed out by water and was subjected to alkaline thiosulphate leaching to solubilize gold and silver. 98.1 % of the gold and 97.4 % of the silver were solubilized within 72 hours. The pregnant solution after leaching was treated by means of cementation with powdered metallic zinc to precipitate these precious metals as mixed gold-silver concentrate.

БИОЛОГИЧНО И ХИМИЧНО ИЗЛУГВАНЕ НА ЦВЕТНИ И БЛАГОРОДНИ МЕТАЛИ ОТ ЕЛЕКТРОНЕН СКРАП

Стоян Н. Грудев, Ирена И. Спасова, Марина В. Николова, Пламен С. Георгиев и Анатоли Ц. Ангелов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, София 1700

РЕЗЮМЕ. Проба от смесен електронен скрап от различни източници бе смлян до размер на частиците под 100 микрона и бе подложена на излугване посредством различни излугващи разтвори в реактори с механично разбъркване. Най-добрите резултати бяха постигнати когато скрапът бе отначало излужен посредством подкиселени разтвори на феросулфат, за да се разтворят цветните метали (главно мед, цинк и никел). Тези разтвори бяха генерирани в резултат на окисление на феройони в биореактор с имобилизирани хемолитотрофни бактерии. Посредством такива разтвори за 120 часа излугване бе постигнато извличане на металите над 98 %. Разтворените метали могат да бъдат извлечени посредством екстракция с органични реагенти и електролиза или посредством утаяване като съответните сулфиди. Твърдият остатък след излугването в кисела среда бе промит с вода и бе подложен на алкално излугване с тиосулфат, за да се разтворят златото и среброто. 98.1 % от златото и 97.4 % от среброто бяха разтворени за 72 часа. Продукционните разтвори след излугването бяха обработени посредством цинков прах (Zn^0), за да се утаят благородните метали като смесен златно-сребърен концентрат.

Introduction

An essential tendency of the present-day mineral industry is the development of methods and technologies for recycling the valuable components present in tailings from mining, mineral processing, metallurgy and different secondary industries. Some of these technologies such as bioleaching of non-ferrous metals (mainly copper) from dumps consisting of mining wastes are largely applied in commercial scale (Rossi, 1990). Technologies for utilization of smelting, converter and electronic furnace slag, pyritic cinders, coal ashes, etc are also available. Some of these technologies are based on the ability of different microorganisms, mainly acidophilic chemolithotrophic bacteria, to leach metals present in these tailings (Genchev and Groudev, 1981, 1982; Briand et al., 1991; Krebs et al., 1999; Macedo et al., 2001; Matlakovska et Sklodowska, 2001).

Some data about the possibilities to extract non-ferrous and precious metals from a mixed electronic scrap, originated from different sources, by means of a combined biological and chemical leaching are present in this paper.

Materials and methods

The sample of electronic scrap used in this study originated from different sources such as computers, printers and copy-machines. The lacquer covering the metal layers in the individual pieces of scrap was removed by means of chemical treatment. Then the individual pieces were mixed and crushed to a particle size less than 100 microns. The crushed mixture was homogenized and an average sample was used in the experimental work. Data about the chemical composition of this sample are shown in Table 1, and data about its essential acid-base properties are shown in Table 2.

Table 1

Chemical composition of the electronic scrap used in this study

Element	Content, g/kg
Cu	20.3
Zn	1.7
Ni	0.37
Pb	1.7
Fe	7.3
Al	5.9
Ca	28.4
Si	9.9
S	1.0
Au	0.132
Ag	0.482

Table 2

Acid-base properties of the electronic scrap

Parameters	Values
pH (in H ₂ O)	7.7
Sulphur, %	0.10
Sulphide sulphur, %	< 0.01
Alkaline oxides, %	4.1
Net neutralization potential, kg CaCO ₃ /t	73

The finely ground material was subjected to leaching in reactors with mechanical stirring. Leach solutions with different composition were used in these experiments:

- Acidified ferric sulphate solutions generated as a result of the prior bacterial oxidation of ferrous ions to the ferric state by means of pure cultures of the iron-oxidizing acidophilic chemolithotrophs *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Leptospirillum ferrooxidans* as well as by mixed cultures of these bacteria. These solutions contained different concentrations of Fe³⁺ ions (in the range from 1 – 15 g/l) and of living bacterial cells;
- Acidified ferric sulphate solutions with the same concentrations of Fe³⁺ ions but without bacteria;
- Nutrient medium 9K (Silverman and Lundgren, 1959) with 9 g/l Fe²⁺ (as ferrous sulphate) inoculated by the above-mentioned bacterial cultures;
- Nutrient medium K (with the same composition as the nutrient medium 9K) but without its own energy source, i.e. without Fe²⁺ ions. The reactor containing this nutrient medium and ground electronic scrap was inoculated with the above-mentioned bacterial cultures at the start of the leaching experiment;
- Nutrient medium K supplemented by S⁰ (10 g/l) and inoculated with sulphur-oxidizing chemolithotrophs *At. ferrooxidans* and *At. thiooxidans*;
- Sterile nutrient medium K (without bacteria);
- Water solutions of sulphuric acid in different concentrations (from 2-10 g/l).

The leaching was carried out at 20% pulp density and 37°C. pH was maintained at different values (from 1.7-2.5) by addition of sulphuric acid. The progress of the leaching was followed by analysis of liquid samples for dissolved metals, including ferrous, ferric and total iron species, as well as for pH, Eh, and number of chemolithotrophic bacteria.

After the end of the acidic leaching the solid residues were washed several times with distilled water to about neutral pH

and then were treated with an alkaline solution to solubilized gold and silver. This solution contained microbial protein hydrolysate – 1.0 g/l, thiosulphate ions (added as ammonium thiosulphate) – 0.1 mol/l, copper ions (added as copper sulphate) – 0.005mol/l, sulphite ions – 0.01 mol/l, and ammonia to maintain the pH during leaching in the range of 10.0–10.5. The protein hydrolysate was a mixture consisting of protein hydrolysates from biomass of three different microbial species. The hydrolysates contained different gold-complexing amino acids and were mixed together in suitable proportions.

The leaching of precious metals from the solid residues was carried out in reactor with mechanical stirring at 20% pulp density and 37 °C. The pregnant solutions containing the dissolved gold and silver were treated by cementation with powdered metallic zinc to precipitate these metals as mixed gold-silver concentrates.

Elemental analysis of the liquid samples was carried out by means of atomic adsorption spectrophotometry and induced coupled plasma spectrophotometry. Elemental analysis of the solid samples was carried out by digestion and measurement of the ion concentrations in solution by the above-mentioned methods.

The isolation, identification and enumeration of microorganisms were carried out by methods described elsewhere (Karavaiko et al., 1988; Groudev, 1990).

Results and discussion

The results obtained from the acidic leaching of the electronic scrap revealed that the ferric ions were the main agent connected with the solubilization of the non-ferrous metals. The growth of the iron-oxidizing bacteria *At. ferrooxidans* and *L. ferrooxidans* in suspensions initially containing only electronic scrap as energy source depended on the generation of ferrous ions from the scrap as a result of the chemical solubilization of metallic iron (Fe⁰) by the sulphuric acid present in the leach solution (Table 3). The generation of these ions initially proceeded at a low rate due to the low acidity of the leach solution and the low efficiency of the molecular oxygen as oxidizing agent towards the metallic iron. However, the generation rate steadily increased in the course of time due to bacterial oxidation of ferrous ions to the ferric state. The ferric ions efficiently oxidized the non-ferrous metals and iron present in the scrap in their zero-valent forms and turned them into the relevant soluble ions. The iron-oxidizing bacteria were not able to oxidize directly the zero-valent forms of metals and only regenerated the real oxidizing agent, i.e. the ferric ions. Due to the highly positive net neutralization potential of the electronic scrap, the bacterial activity was possible only in the cases when sulphuric acid was added from outside to maintain the pH of the leach suspensions within the acidic range suitable for these bacteria (approximately between 1.5 and 3.5). Some of these bacteria (*At. ferrooxidans* and *At. ferrooxidans*) oxidized the elemental sulphur added to the leach suspension to sulphuric acid but the acidity increased in this way only slightly improved the extraction of metals.

Table 3

Leaching of non-ferrous metals from the electronic scrap by means of bacteria growing in the presence of the scrap

Microorganisms and energy source	Metals solubilized within 120 hours, %		
	Cu	Zn	Ni
<i>At. ferrooxidans</i> grown on:			
-scrap + Fe ²⁺	40.1	52.9	59.0
-scrap + S ⁰	4.1	6.4	7.7
-only scrap	2.1	3.7	4.4
<i>L. ferrooxidans</i> grown on:			
-scrap + Fe ²⁺	42.0	54.1	58.7
-only scrap	2.3	3.9	4.6
<i>At. ferrooxidans</i> grown on:			
-scrap + S ⁰	4.8	8.0	9.5
-only scrap	1.7	3.2	4.1
Mixed cultures grown on:			
-scrap + Fe ²⁺	46.4	60.4	68.4
-scrap + S ⁰	5.9	10.0	12.0
-only scrap	3.7	6.8	8.4

Better results were obtained in experiments in which the leach suspensions contained Fe²⁺ ions added from outside (as ferrous sulphate) (Table 4).

Table 4

Leaching of non-ferrous metals from the electronic scrap by means of bacteria growing in leach suspensions containing Fe²⁺ added from outside in different concentrations.

Microorganisms and Fe ²⁺	Metals solubilized within 120 hours, %		
	Cu	Zn	Ni
<i>At. ferrooxidans</i> + Fe ²⁺			
0 g/l Fe ²⁺	2.1	3.7	4.4
3 g/l Fe ²⁺	24.4	35.0	42.2
9 g/l Fe ²⁺	40.1	52.9	59.0
15 g/l Fe ²⁺	52.1	66.2	72.1
<i>L. ferrooxidans</i> + Fe ²⁺			
0 g/l Fe ²⁺	2.3	3.9	4.6
3 g/l Fe ²⁺	25.3	36.1	44.0
9 g/l Fe ²⁺	42.0	54.1	58.7
15 g/l Fe ²⁺	51.9	65.3	72.5
Mixed culture + Fe ²⁺			
0 g/l Fe ²⁺	3.7	6.8	8.4
3 g/l Fe ²⁺	28.0	41.9	49.1
9 g/l Fe ²⁺	46.4	60.4	68.4
15 g/l Fe ²⁺	59.1	75.2	82.4

In these cases the iron-oxidizing bacteria generated ferric ions, which then oxidized the zero-valent metals to the relevant soluble ions. The efficiency of solubilization of non-ferrous metals in these systems depended on the concentration of Fe²⁺ ions added from outside. The mixed bacterial cultures showed higher leaching ability than the pure cultures of the iron-oxidizing species *At. ferrooxidans* and *L. ferrooxidans*. This was connected with the higher ferrous-oxidizing ability of these mixed cultures. They contained *At. ferrooxidans* and *L. ferrooxidans* as the prevalent species and very small quantities of *At. thiooxidans* and some heterotrophs (mainly such related

to the genus *Acidiphilium*). The ratio between *At. ferrooxidans* and *L. ferrooxidans* depended on the pH of the system. At pH higher than 2.1 *At. ferrooxidans* was the prevalent microorganisms but at pH lower than 2.0 *L. ferrooxidans* was present at higher densities.

The highest extractions of non-ferrous metals were achieved in experiments in which the leach solutions contained Fe³⁺ ions in sufficient concentrations (Table 5) obtained as a result of the prior bacterial oxidation of Fe²⁺ to Fe³⁺ ions in the bioreactor using immobilized biomass of the iron-oxidizing bacteria *At. ferrooxidans* and *L. ferrooxidans*. These leach solutions contained also significant quantities of living bacteria of the species mentioned above (from approximately 4.10⁷ cells/ml in solutions with 1 g/l Fe³⁺ ions to about 6.10⁸ cell/ml in solutions containing 15 g/l Fe³⁺ ions). The role of bacteria in these short-term leaching experiments (with a duration of 120 hours) was not so essential because the solubilization of non-ferrous metals at the higher Fe³⁺ concentrations proceeded at high rates. However, in experiments of a long duration the role of bacteria to regenerate the Fe³⁺ ions was essential.

Table 5

Leaching of non-ferrous metals from the electronic scrap by means of ferric sulphate solutions generated as a result of the prior bacterial oxidation of Fe²⁺ to Fe³⁺ ions

Leach solution	Metals solubilized within 120 hours, %		
	Cu	Zn	Ni
Fe ³⁺ (15 g/l) + <i>At. ferrooxidans</i>	97.0	97.4	98.1
Fe ³⁺ (15 g/l) + <i>L. ferrooxidans</i>	97.2	98.1	99.0
Fe ³⁺ (15 g/l) + mixed culture	98.9	99.2	99.7
Fe ³⁺ (9 g/l) + <i>At. ferrooxidans</i>	95.2	95.0	96.1
Fe ³⁺ (9 g/l) + <i>L. ferrooxidans</i>	95.0	94.1	97.0
Fe ³⁺ (9 g/l) + mixed culture	96.4	97.0	98.4
Fe ³⁺ (3 g/l) + <i>At. ferrooxidans</i>	71.4	84.2	91.4
Fe ³⁺ (3 g/l) + <i>L. ferrooxidans</i>	70.0	86.0	93.8
Fe ³⁺ (3 g/l) + mixed culture	71.2	88.2	93.8

The chemical leaching of non-ferrous metals by means of sterile ferric sulphate solutions was also efficient and resulted in similar extractions of non-ferrous metals. However, the leaching by means of sulphuric acid was not efficient at the temperatures maintained during the experiments (37 °C). On the other side, it is well known that the zero-valent forms at that non-ferrous metals are efficiently oxidized and solubilized under aerobic conditions and high temperatures (>80 °C) in leach solutions consisting of concentrated sulphuric acid.

The dissolved non-ferrous metals can be recovered from the pregnant solutions by means of solvent extraction and electrowinning as well as by means of precipitation as the relevant sulphides.

The leaching of precious metals from the residues by means of the alkaline solutions containing thiosulphate and amino acids as complexing agents for these metals was also efficient (Fig. 1). 98.1% of the gold and 97.4% of the silver were solubilized within 72 hours.

The degree of extraction of the dissolved metals from the pregnant solutions by cementation with Zn^0 was higher than 98%. The products from the cementation unit were mixed gold-silver concentrates which contained also copper and zinc as valuable components. These non-ferrous metals can be solubilized by leaching with sulphuric acid at high temperatures in the presence of oxygen. Then the concentrates can be processed by the conventional procedure for obtaining pure gold and silver.

The consumption of reagents during the leaching and cementation amounted to 9.1 g ammonium thiosulphate, 0.35 g protein hydrolysate and 0.14 g metallic zinc per kg of ore.

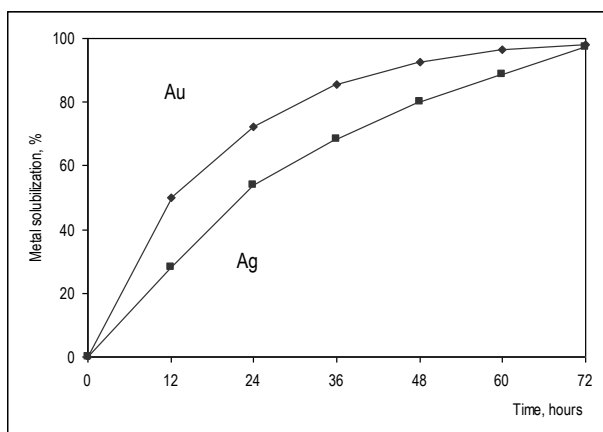


Fig. 1. Leaching of precious metals from the electronic scrap

The above mentioned results indicate that the combined biological and chemical leaching of non-ferrous and precious metals from electronic scrap can be regarded as an efficient method for extraction of these valuable components.

Acknowledgements. A part of this work was financially supported by the National Fund "Scientific Research" under the project CENBIOHEALTH.

Recommended for publication by the Department of Engineering Geoecology Faculty of Geology and Prospecting

References

- Briand, I., H. Thomas, A. de la Vega, E. Donati. 1991. Vanadium recovery from solid catalysts by means of thiobacilli action. – In: *Biohydrometallurgy and the Environment Toward the Mining of the 21st Century*. Eds. R. Amils and A. Ballester, Amsterdam, Elsevier, Part A, 263-271.
- Genchev, F. N., S. N. Groudev. 1981. Leaching of copper from clinker, a waste product from the zinc metallurgy. – *Annual of the Higher Institute of Mining and Geology*, Sofia, 25 (IV), 159-170.
- Genchev, F. N., S. N. Groudev. 1982. Dressing of oxidized copper slag from the production of black copper, *Metallurgy*, 3, 22-25.
- Groudev, S. N. 1990. Microbiological Transformations of Mineral Raw Materials, *Doctor of Biological Sciences Thesis*, University of Mining and Geology, Sofia.
- Karavaiko, G. I., G. Rossi, A. D. Agate, S. N. Groudev, Z. A. Avakyan, Eds. 1988. *Biotechnology of Metals. Manual*. Moscow, Centre of International Projects GKNT.
- Krebs, W., Bachofen, R., Brandl, H. 1999. Optimization of metal leaching efficiency of fly ash from municipal solid waste incineration by sulphur oxidizing bacteria. – In: *Biohydrometallurgy and the Environment Toward the Mining of the 21st Century*, Eds. R. Amils and A. Ballester, Amsterdam, Elsevier, Part A, 377-386.
- Macedo, M. I. F., P. S. M. Soares, R. B. E. Trindade, 2001. Dissolution of heavy metals from spent batteries under waste landfill conditions. – In: *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development*. Eds., V.S.T. Ciminelli and O. Garcia Jr., Amsterdam, Elsevier, Part B, 11-18.
- Matlakovska, R., A. Sklodowska. 2001. Metal bioleaching from sewage sludge in waste water treatment plant. – In: *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development*. Eds., V. S. T. Ciminelli and O. Garcia Jr., Amsterdam, Elsevier, Part B, 39-47.
- Rossi, G. 1990. *Biohydrometallurgy*, New York, McGraw Hill.
- Silverman, M. P., D. G. Lundgren. 1959. Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. – *Journal of Bacteriology*, 77, 642-647.

55 ГОДИНИ (1951-2006) ОТ СЪЗДАВАНЕТО НА КАТЕДРА „ГЕОЛОГИЯ И ПАЛЕОНТОЛОГИЯ” ПРИ МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. ИВАН РИЛСКИ”, СОФИЯ

Милорад Вацев

Минно-геоложки университет, катедра Геология и палеонтология, София 1700

55 YEARS (1951-2006) SINCE THE FOUNDATION OF THE CHAIR "GEOLOGY AND PALEONTOLOGY" AT THE UNIVERSITY OF MINING AND GEOLOGY "ST. IVAN RILSKI", SOFIA

Milorad Vatsev

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

Кратка историческа справка

През месец март 2006 г. се навършиха 55 години от създаването на катедра „Геология и палеонтология” (КГП) при Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски” (МГУ) – София. Извървян е дълъг, труден и сложен път и това кратко изложение има за цел да посочи основните етапи на развитие, главните творчески направления и достижения.

Официалното създаване, оформяне и утвърждаване на катедрата има предистория, пряко свързана със създаването и оформянето на МГУ като висше учебно заведение (ВУЗ). Във Висшето техническо училище (ВТУ), основано през 1942 г. е предвидено създаването към Машинния факултет на отдел по минно инженерство, който по редица организационни, технически, икономически и кадрови проблеми е създаден по-късно, след приключването на Втората световна война. В този следвоенен период за възстановяването на България и развитието на живота, културата, индустрията, транспорта и селското стопанство са били нужни много високоподготвени, разнообразни специалисти. ВТУ се разширява и трансформира през 1945 г. в Държавна политехника. Тогава, а и след това на България са били нужни значителни енергийни източници и разнообразни минерални суровини (полезни изкопаеми). За кратко време са установени значителни перспективни площи за различни минерални суровини, провежда се и добив, а нуждата от геолози, минни инженери, обогатители, маркшайдери и други специалисти с висше образование нараства силно. До този момент в България такива специалисти не са подготвяни. В Софийския университет „Св. Климент Охридски” до тогава има катедра по „Геология”, но студенти са обучавани по специалността *Естествена история*, а по специалността *геология* – от 1947 г. Академичният съвет на Държавната политехника

взема решение през учебната 1947/48 г. за създаването на отдел по „Минно инженерство и инженерна геология” за подготовка на минни инженери, обогатители и инженер-геолози. Този отдел към Машинния факултет е създаден с указ № 9806 от 31.05.1950 г. на Президиума на Народното събрание и започва да действа през учебната 1950/51 г. с ръководител проф. Стефан Бошев. От учебната 1951/52 г. е в рамките на новосъздадения Химико-технологичен факултет, където проф. Ст. Бошев е декан. Специализираните катедри към този отдел в това число и КГП, са създадени и окончателно утвърдени със заповед № 958 от 09.03.1951 г. на Комитета за наука, изкуство и култура. Ръководител на катедрата е проф. Ст. Бошев. През 1953 г. с указ № 231 от 10.06.1953 г. на Президиума на Народното събрание Държавна политехника е разформирована и са създадени четири самостоятелни висши учебни заведения – институти. Оттогава Минно-геоложният институт се развива и утвърждава като самостоятелен ВУЗ, преименуван е във Висш Минно-геоложки институт през 1965 г. и трансформиран в университет през 1995 г. При създаването му в Геологопроучвателния факултет са формирани специалностите: *Геология и проучване на полезни изкопаеми*, *Инженерна геология и хидрогеология*, *Геофизични методи на проучване* и *Техника на проучването*. Те се оказаха и утвърдиха във времето като напълно удачни и правилни.

В исторически аспект, преподаването на геоложки и геоморфоложки дисциплини е започнало в Строителния отдел на ВТУ още при неговото създаване през 1942 г., а след това и в рамките на Държавната политехника. То е провеждано в катедра „Пътища и железници”, където Васил Арnaudов е доцент по геология и петрография (1942-1946) и чете лекции по петрография, но умира през 1946 г. Ст. Бошев е асистент от 1942 г., а д-р Еким Бончев като хоноруван доцент е четял лекции по геология (1942-1944). След края на Втората световна война (1945 г.) се

разширява броят на преподаваните геоложки дисциплини на строителните инженери, а съответно и на преподавателския състав. Тук постъпват на работа нови специалисти геолози. През учебната 1946/47 г. лекциите по петрография води доц. Георги К. Георгиев. Ръководител от 1947 г. е доц. Ст. Бошев. Андрей Янишевски от 1947 до 1949 г. е доцент по рудни находища. Постъпват на работа като асистенти Анастас Демирев (1945 г.), Радослав Христов (1946 г.), Вълко Трошанов (1947 г.), Георги К. Георгиев (1949 г.). Редица от тези специалисти разработват и защитават докторски (кандидатски) работи и по-късно работят в различни катедри от МГУ. Първоначалният основен преподавателски състав на катедрите от Геологопроучвателния факултет при МГУ се формира в интервала от 1950 до 1960 г.

Основни направления в учебната дейност и структура на катедрата

КГП е в рамките на Геологопроучвателния факултет при МГУ. След някои промени в названията и създаването на нови специалности, сега студенти се обучават по следните специалности: *Геология на минералните ресурси, Хидрогеология и инженерна геология, Приложна геофизика, Сондиране и добив на нефт и газ, Екология и опазване на околната среда, Геология и геоинформатика*. Последната специалност е към КГП и е създадена през 2003 г. Основната геоложка подготовка на студентите, а също така на специализанти и докторанти (аспиранти) от тези специалности и на студентите от специалностите от Минно-технологичния и Минно-електромеханичния факултет, е осъществявана от преподавателския колектив на катедрата.

Учебната дейност е основна дейност и съставянето, и разработването на учебните планове и програми, тяхното реализиране чрез лекционните курсове и работата със студентите в залите, лабораториите и на терена (учебните практики), ръководството на курсовите работи, проекти и дипломни работи, изготвянето на учебници и учебни помагала за упражнения и учебни практики са основни задачи при обучението. Основните геоложки дисциплини, преподавани от преподавателския колектив на катедрата са: обща геология (проф. д-р Р. Христов, доц. д-р П. Бакалов, доц. д-р К. Кръстев), палеонтология (проф. Б. Страшимиров, доц. д-р Д. Синьовски), стратиграфия (доц. д-р М. Вацев, доц. д-р Д. Синьовски), исторична геология (проф. Ст. Бошев, проф. д-р М. Вергилова, доц. д-р М. Вацев, доц. д-р Д. Синьовски), структурна геология и геотектоника (проф. д-р Ст. Зафиров, доц. д-р М. Антонов), геоморфология и кватернерна геология (проф. д-р Р. Христов, доц. д-р П. Бакалов, проф. д-р Х. Спиридонов), полева геология (геолошко картиране) (проф. д-р Ст. Зафиров, доц. М. Моев, доц. д-р В. Желев), фациален и палеогеографски анализ (доц. д-р М. Вацев), седиментни геокomплекси от България (доц. д-р М. Вацев) и регионална геология (геология на България) (проф. д-р Ст. Зафиров, доц. М. Моев, доц. д-р В. Желев), а през настоящия век още: геоложка компютърна графика (доц. д-р Д. Синьовски), географски информационни системи (доц. д-р К. Попов), компютърна обработка на геоложка информация (ас. Ст. Начев).

Кратки курсове по геология и смесени курсове от някои от тези дисциплини се преподават на редица специалности от Геологопроучвателния, Минно-технологичния и Минноелектромеханичнен факултет, както и на обучаваните специалности в колежа в гр. Кърджали. Преподаватели от катедрата вземат участие и в провеждането на специализирани курсове за повишаване и осъвременяване подготовката на специалисти, завършили преди години.

Нов момент от развитието на учебната работа при КГП, а също и за другите катедри от МГУ, е свързан със създаването и реализирането на обучението на три степени: бакалаври, магистри и доктори от 2003 г. Съставени, обсъждани и приети са нови учебни планове и програми, и в това направление към катедрата е разработена и въведена новата магистърска програма по *Регионална геология* и новата специалност *Геология и геоинформатика* с професионална квалификация *геолог-информатик*. Тук основната цел на обучението е студентите да придобият знания и умения за работа по широк профил в областта на геологията, минералните суровини и околната среда в съчетание с добра езикова подготовка и надеждни познания в областта на съвременните информационни технологии за събиране, обработка, съставяне, съхранение и систематизиране на геоложка информация и приложението за информационно осигуряване на всякакъв вид геоложки дейности, научните изследвания в областта на геоложките науки и оценка, и опазване на околната среда, съгласно геоложките предпоставки и дадености, и съвременните изисквания.

Във връзка с учебната и научноизследователската дейност към катедрата са създадени и функционират две специализирани лаборатории: микропалеонтоложка лаборатория и лаборатория по фациален анализ. В учебните зали са поставени и използвани при обучението малки специализирани учебни сбирки. В учебните занятия са използвани бинокулярни лупи, микроскопи, учебни геоложки карти и разрези, космически и аерофотоснимки и други необходими материали, а сега GPS приемници, дигитални камери, компютри и специализирани информационни системи. Преподаваните дисциплини се онагледяват с добре разработени графични материали, нови геоложки, тектонски, геоморфоложки карти и др. Лекциите и упражненията са били подпомагани от серии от учебни сбирки, диапозитиви, киномашини за учебни и специализирани филми, а през настоящия век е създадена и мултимедийна зала, оборудвана на съвременно ниво. В края на миналия век към катедрата е създадена и лаборатория по ГИС, а по-късно през 2003 г. и учебна лаборатория по геоинформатика, оборудвана със съвременна компютърна техника и специализиран софтуер.

Специализираните и непрекъснато нарастващи геоложки сбирки са обединени и през 1959 г. е създаден геоложки музей по „Геология и палеонтология“ с колекции от минерали и скали, както и такива по палеонтология, исторична геология, геология на България. Понастоящем фондът на тези музейни сбирки е над 9000 екземпляра. При неговото първоначално създаване през 50-те години са използвани сбирки от Германия, Русия (тогава СССР) и България, както и редица лични сбирки и дарения. По-късно са създадени и специализирани палеонтоложки и геоложки сбирки, дарени от преподаватели от катедрата,

геолози и палеонтолози, и граждани от България и чужбина. В края на 80-те години на миналия век специализираните сбирки са подредени в ново помещение и юридически е оформен Геоложки музей при Минно-геоложкия университет с два отдела: *Минералогия и петрография, Геология и палеонтология* с образци от всички континенти.

Подготвени и издадени са над 30 броя учебни пособия – учебници, практически ръководства за упражнения и теренна работа. Много от тях със съответните подобрения и допълнения са преиздавани неколкратно. В последните години се разработват и учебни пособия за електронно обучение и се въвеждат съвременни информационни системи.

За провеждането на учебните практики по дисциплини, преподавани в катедрата, е създаден и оборудван учебен полигон в с. Лютиброд.

Академичен състав. От създаването на катедрата през учебната 1950/51 г. преподавателският състав на катедрата се е променял и развивал, съобразно развитието на учебната дейност и съобразно действащите и усъвършенствани във времето учебни планове и програми, както и научните достиженията в геологията.

Ръководители на КГП са били последователно: проф. Ст. Бошев (1951-1972), проф. Б. Страшимиров (1972-1985), проф. д-р М. Вергилова (1985- 1990), доц. д-р М. Антонов (1990-1999) и доц. д-р Д. Синьовски (от 1999 до сега).

Академичният състав на катедрата през отделните етапи е бил следният:

- края на 50-те години – проф. Ст. Бошев, доц. д-р Р. Христов, доц. Б. Страшимиров, доц. д-р Ст. Зафиров, асистенти: Ив. Вутов, М. Вергилова и М. Моев.
- края на 70-те години – проф. Б. Страшимиров, проф. д-р Р. Христов, проф. д-р Ст. Зафиров, доц. д-р М. Вергилова, доц. М. Моев и асистенти д-р М. Вацев, М. Антонов, П. Бакалов, К. Кръстев и д-р Й. Малайков.
- края на 90-те години – доц. д-р М. Вацев, доц. д-р М. Антонов, доц. д-р К. Кръстев, доц. д-р В. Желев, доц. д-р Д. Синьовски и асистенти д-р Г. Айданлийски, д-р Т. Илиева, д-р Д. Антонова, д-р К. Шипкова и С. Севданов.
- края на 2006 г. – доц. д-р К. Кръстев, доц. д-р В. Желев, доц. д-р Д. Синьовски и асистенти д-р Г. Айданлийски, д-р Д. Антонова, д-р К. Шипкова, С. Севданов, д-р Б. Велчев, Ст. Начев и Е. Илиева; хонорувани преподаватели проф. д-р Х. Спиридонов, доц. д-р П. Бакалов, доц. д-р М. Вацев и доц. д-р М. Антонов.

През разглеждания период в катедрата са работили 5 професори, 7 доценти, броят на асистентите е бил около 5-6 души, като те винаги са внасяли нови подобрения в практическите занятия. От членовете на катедрата 12 души притежават научната степен „доктор“ като трима са получили тази степен преди да постъпят в МГУ, а останалите я придобиват тук.

Организационна дейност. Членовете на катедрения колектив в една или друга степен са участвали в ръководството на факултета и университета. Ярък пример в това отношение е проф. Ст. Бошев, който като ръководител на катедрата е участвал активно в нейното създаване, развитие и укрепване. Твърде съществени са и неговите приноси за създаването и утвърждаването на МГУ като ВУЗ. Той е работил активно за създаването и утвърждаването на академичен стил и традиции в учебната, научноизследователската и административната

дейност – бил е ректор (1959-1962), зам.ректор (1954-1959), декан на ГПФ (1953-1954). Проф. Б. Страшимиров – заместник ректор (191962-1963), декан на ГПФ (1959-1962, 1972-1977), заместник декан на ГПФ (191958-1959). Проф. Р. Христов – заместник декан на ГПФ (1966-68). Доц. М. Моев – декан на ГПФ (1979-1982). Доц. К. Кръстев – заместник декан (1991-1993). Доц. Д. Синьовски – заместник декан на ГПФ (1995-1999). Доц. М. Вацев – ръководител ЦНИЛ „Геохимия“ (1984-1989).

Научноизследователска дейност

Професорите, доцентите, асистентите и научните сътрудници от катедра „Геология и палеонтология“ продължават и разширяват традициите в българската геология при което провежданите научни геоложки изследвания по направления съвпадащи с водените от тях основни учебни дисциплини. Научноизследователската дейност е провеждана в направленията: палеонтология и стратиграфия, регионална геология и структурна геология, кватернерна геология и геоморфология.

Палеонтология и стратиграфия. Редица изследвания в палеонтологичното и стратиграфското направление са посветени на изучаването на фораминифери, нано и диатомейна флора, бивалвии, гатроподи, фосилни риби, бозайникова фауна, листопадна фосилна флора и други. Общо тези изследвания са имали за задача изясняването на таксономия, биостратиграфия и палеоекология. Проф. Б. Страшимиров е изучавал активно неогенски брахиоподи и бивалвии и основната част от данните са систематизирани и обобщени съвместно със ст.н.с. Е. Коюмджиева в специален том от поредицата *Фосилите на България*, том 7 – *Кримокавказски тип тортон* (1960). По-късно продължава тези изследвания и изучавайки и фораминифери, и отоли, допринася за изясняването на стратиграфията на неогенските последователности от Северна България. Проф. М. Вергилова е изследвала кредни, а след това и юрски белемнити като разработва и зонална подялба в паралел с налична такава по амонити. Данните са отразени в поредицата *Фосилите на България*, том 4-а - *Долна креда. Белемнитиди* (1970). С. Джуранов изучава палеогенски фораминифери от Североизточна България, продължава тези изследванията, но напуска МГУ през 1989 г. При изследване на палеогенските седименти от Падежкия басейн, извършено от М. Вацев са установени за първи път фораминифери, които са определени от С. Джуранов и е доказано за първи път наличието на средноеоценски и се уточняват данните за разположените над тях късноеоценски седименти. Д. Синьовски изучава за първи път в България къснокредни нанофосили и при изследванията са обхванати къснокредни последователности от СИ, СЗ и Ю България и е създадена надеждна база за тяхната корелация. Т. Илиева изследва къснокредни и дански ехиниди от Северна България и отделя биостратиграфски зони по тях, но след това (2003 г.) напуска катедрата. Б. Вълчев изучава палеогенски фораминифери от СИ България, а сега и къснокредни такива от С България. Н. Мочурова като аспирант изследва къснокредни брахиоподи от Северна България, характеризира микроструктурата им и измененията при еволюционното развитие.

Регионални стратиграфски изследвания са провеждани от редица членове на катедрата в определени площи и райони. В по-ново време след съставянето на Международния и Българския стратиграфски кодекс, стратиграфските изследвания, имат по-конкретен характер в литостратиграфско и циклостратиграфско направление. М. Вацев провежда системни комплексни литоложки, генетични (фациални) и стратиграфски изследвания и провежда литостратиграфско и циклостратиграфско разчленяване и корелация на седиментите от редица палеогенски и неогенски грабенови басейни от Ю България, привежда нови биостратиграфски данни по установени от него разнообразни палеонтологични материали, определени от изтъкнати наши и чужди специалисти при което са установени и нови видове за България и за науката. М. Вацев е основоположник на диатомейния анализ в България със съвместните си работи със специалист по диатомейната флора от Московския държавен университет. Той е изучавал и палеогенските вулкани от Западните и Централните Родопи и изяснява тяхната стратиграфска позиция и разчлененост, техните петрографски, петрохимични и генетични особености, а също така и на асоцииращите с тях пизолитови туфи. Изучавал е и свлачищата в Местенския грабен. Г. Айдалийски провежда комплексни литоложки и генетични (фациални) изследвания на долнотриаските седименти от района на Западна Стара планина доразработва и уточнява циклостратиграфията и корелацията на тази последователност, представени в отделни, често отдалечени площи.

Регионално-геоложки изследвания. Тук попадат преобладаващата част от ранните публикации на редица членове на катедрата (Ст. Бошев, Ст. Зафиров, Р. Христов, Б. Страшимиров), а също и на техни колективни работи, в които се разглеждат и уточняват по-конкретни стратиграфски въпроси, нужни за разглеждане на геоложкия строеж на различни райони. Ст. Бошев изучава геоложкия строеж на участъци от Централна Стара планина и Средногорието, а в съвместна работа с М. Вацев изследвайки и обобщавайки данните за къснокредните флишки седименти от Средногорието и Източна Стара планина, отбелязват миграцията на флишката седиментация от юг на север през късната креда и ранния палеоцен. Ст. Зафиров допринася за изясняването на геоложкия строеж, а също така и привързаността на наличните минерални суровини за редица райони в България както и на взаимоотношенията и строежа на някои тектонски единици. М. Моев е работил съвместно с други членове на катедрата за изясняване геоложкия строеж райони от Средногорието и Източна Стара планина и провежда самостоятелно изследвания в района на планината Голо бърдо и Радомирското поле. В относително по-късните колективни работи на членове на катедрата по-ясно се открояват специализираните изследвания и ясни обосновки, и резултатите от тези работи са високо оценявани от по-късни изследователи; примерно работите относно Централното Средногорие и Източна Стара планина. В. Желев провежда комплексни изследвания на Витоша и способства за изясняването на стратиграфските взаимоотношения на кредните седиментни и вулкански скали, и последователностите от Витошкия плутон. Д. Синьовски съвместно с М. Антонов и съавтори привежда много нови данни за строежа и

развитието на Челопешкия район и Източна Стара планина. Провеждал е геоложко картиране в Куба и интерпретира данни от геоложкия строеж.

К. Шипкова изучава структурите и деформациите на метаморфитите от района на Рила планина. Ст. Начев с колектив работи относно обработка на геоложките данни и съставянето на геоложки карти.

Р. Христов провежда изследвания на геоложкия строеж, речните тераси и геоморфологията на редица площи от България като конкретните приноси са специфични. П. Бакалов самостоятелно и в съавторство е изучавал и разчленявал неогенски последователности от басейни от ЮЗ България и характеризира литостратиграфски единици и единици, ограничени от несъгласия. По договорна тематика е провеждал работи за търсенето на разсипно злато сред неогенски и кватернерни седименти, като са изяснявани обстановките, благоприятни за неговото натрупване. Паралелно с това К. Кръстев е изследвал морфологията и геохимията на този тип злато от различни находища.

В края на миналия и началото на настоящия век, колектив от катедрата с ръководител В. Желев разработва проект за *Геоложките феномени в България*. Създаден е регистър и кадастър на геоложките феномени, разработена е оригинална методика за оценка на геоложките феномени, предложен е и национален геопарк „Искърски пролом“, а данните и предложенията са публикувани у нас и в чужбина. Членове на катедрата чрез консорциума „Геокомплекс“ ООД – София, участват в геоложките работи по съставянето на *Геоложка карта на България* в М 1: 50 000.

Структурна геология. Специализирани изследвания по структурна и регионална геология се провеждат през 70-те и 80-те години от млади специалисти от катедрата. М. Антонов работи в направлението на структурната геология на Етрополския дял на Стара планина, а по-късно в колективни работи изследва стратиграфските и структурните единици от различни райони от Стара планина и Средногорието. Последните му работи се отнасят до структурната геология на палеозойските комплекси и взаимоотношенията между високо и нискометаморфните комплекси от България. Й. Маляков провежда петроложки и структурни изследвания на слабометаморфозирани и тектонски променени комплекси от ЮЗ България.

Общият брой на публикациите на членовете на катедрата е над 400 броя.

Студентска научноизследователска дейност. През 70 и 80-те години когато са разработвани редица научноизследователски договори или проекти в работата са участвали активно и студенти. На студентски научни конференции студенти, работещи към катедрата са класирани на първите места. През 2000-та година към катедрата е основана студентска група на Американската асоциация на петролните геолози (AAPG), която провежда срещи с наши и чужди специалисти, теренни изследвания, семинари и обмен на информация с аналогични групи от други страни. Групата е била най-активна през 2002 г. и е получила награда от асоциацията, работи активно и сега, а разработена тема от студент е най-високо оценена през 2006 г.

Международна дейност

Преобладаващата част от членовете на катедрата относно учебната и научноизследователската дейност системно са обменяли опит и са ползвали учебни програми, учебни пособия, опит и методика на преподаването и изследванията при създаването, комплектоването и развитието на катедрата. Значителна част от учебните сбирки по палеонтология и преди всичко по исторична геология са дарени от учебни заведения от бившия СССР – Московският геолого-разведочен институт (МГРИ) по-късно е университет. Всички преподаватели, постъпили в катедрата до 1990 г. са били на специализация при професори и доценти от този университет и в Московския държавен университет. М. Вацев е разработил и защитил докторска (кандидатска) работа в Московския държавен университет, а също и постградуационна специализация. Научноизследователски проекти са разработвани съвместно от преподаватели и научни сътрудници от МГРИ и МГУ – София. Гости на КГП са били професори и доценти от МГРИ, Московския държавен университет, които са изнасяли лекции и пред студенти. Обменян е опит и информация и с университети от страни от Източна Европа – Чехия, Словакия, Германия (бивша ГДР), Унгария, Сърбия, Румъния и Гърция. Членове на катедрата са взели участие с доклади и на конгреси на Карпато-балканската геоложка асоциация, на Международни геоложки конгреси и по разработването на Международни геоложки проекти.

След годините на застой през 90-те години КГП развива отново активна научноизследователска и учебна дейност, като са осъществени специализации в престижни университети от страни от Западна Европа – Грайфсвалдския университет в Германия, Лиможкия университет във Франция, Католическият университет в Льовен, Белгия, Карловският университет в Чехия, Хериод-Ват в Единбург, Шотландия. Членове на катедрата са взели участие отново и в конгреси на Карпато-балканската геоложка асоциация, на Международни геоложки конгреси и разработването на Международни геоложки проекти – един по програмата ТЕМПУС, част от проект по програмата ФАР, един по направлението IGCP и проекти с международно участие по линията на МОН.

През 2002 г. КГП е била домакин на курс на Международната седиментоложка асоциация, реализиран в сътрудничество с Университета във Фрибург, Швейцария и Империял Колидж – Лондон, Великобритания.

Членове на катедрата са работили в редица страни: Алжир, Куба, Монголия, Грузия, Армения и Кипър. Някои са консултанти и/или участници в проекти на чуждестранни фирми, работещи в България и чужбина.

Обобщение

Изминалите 55 години от създаването на катедра „Геология и палеонтология“ при Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“ в София, маркират един сравнително дълъг и труден път на създаване, развитие и достижения. Първият етап обхващащ 50 и 60-те години на миналия век е етап на създаване, изграждане и утвърждаване на катедрата и на възпитаниците на този университет. Провежданите научни изследвания от членовете на катедрата допринасят за изясняването на геоложкия строеж на части от редица райони в това число и с оглед на минералните суровини. Този подход при геоложките изследвания тогава е широко възприет и реализиран в цяла България.

Вторият етап обхваща 70-те и 80-те години и се характеризира със засилване на специализацията при подготвянето на студентите и провеждането от колективи от разнородни специалисти на комплексни геоложки изследвания по редица договори (проекти) с производствени организации, а също и по международни проекти. Съществено значение има и укрепването на Научноизследователския сектор при МГУ и на ЦНИЛ „Геохимия“. Резултатите от изследванията допринасят за изясняването на редица черти и особености от геоложкия строеж на значителни площи и важни райони в геолошко и практическо значение относно минерални суровини в дълбочина, и провеждането на корелация и сравнителен анализ с райони от съседни и по-отдалечени страни. В катедрата активно работят няколко млади специалисти, които провеждат системни специализирани изследвания, разработват и защитават докторски работи.

За третият етап е характерно, че след продължителния застой и неорганизиран преход през 90-те години, учебната и научноизследователската дейност сега се реорганизира съгласно съвременните изисквания. Обучението на студентите се извършва по тристепенна система: бакалаври, магистри и доктори, при КГП е създадена нова специалност *Геология и геоинформатика*. Разработват се проекти финансирани по различни направления, разработен е кадастър на природните феномени в България, отделен и характеризирани е геопарк „Искърски пролом“, работи се и по изготвянето на *Геоложка карта на България* в М 1: 50 000.

Неголемият преподавателският колектив на КГП със своята учебнопреподавателска и научноизследователска работа допринася за нарастването авторитета на МГУ и на българската геоложка общност.

INTRODUCING CALCRETES – FROM MICROMORPHOLOGY TO BASIN ANALYSIS

George Ajdanlijsky

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

ВЪВЕЖДАНЕ НА КАЛКРЕТИТЕ – ОТ МИКРОМОРФОЛОГИЯ ДО БАСЕЙНОВ АНАЛИЗ

Георги Айданлийски

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

At the mid of November 2006 in the frame of the Socrates (Erasmus) Program the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria, was visited by Prof. Dr. Ana M^a Alonso Zarza from the Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. During her visit Prof. Alonso-Zarza gave a presentation entitled "Calcretes in the geological record: applications for environmental analyses". The completely full auditorium in the Department of Geology and Paleontology was demonstrative for the interest of the event. Professors and students from the geological faculties of universities of Sofia with specialists from the Geological Institute of the Bulgarian Academy of Sciences and many professionals attended the presentation.

The talk was directed to the Bulgarian geological community in order to discuss the modern definition and classification of the calcretes and their application for stratigraphy and paleoenvironmental studies. Calcretes are terrestrial carbonates that result mainly from the displacive and/or replacive introduction of carbonate into soil, rock or sediments. Their formation is controlled by so many factors that their correct study, plus that of the features they contain, offers invaluable data on ancient terrestrial palaeoenvironments. In recent years, interest in them has increased notably, not only because their importance in paleoenvironmental and paleoclimatological studies, but also because of the special interest to reach a general model for sequence stratigraphy in terrestrial basins, where the calcretes must be necessarily included.

The presentation was based on many case-studies from Spain, such as the Triassic of the Iberian Ranges, the Tertiary of the Madrid Basin and Quaternary deposits from SE Spain and the Canary Islands. Along the presentation the following aspects were discussed:

- Definition of calcretes and discussion on the differences between pedogenic and groundwater calcretes. In pedogenic calcretes, precipitation of carbonate takes places mostly in the vadose zone above the water table, and within a previous host

rock or sediment. In groundwater calcretes, the precipitation of carbonate also occurs within a previous host rock and around the groundwater table.

- Mineralogy: calcretes versus dolocretes.
- Source of carbonate and calcium considering the "per-ascensum" versus "per-descensum" model.
- Calcretes as paleosol profiles, focusing on the macromorphological stages and its applications to understand rates of formation and their relationship with the rates of sedimentation and erosion. Examples from alluvial fans were discussed.
- Micromorphology: different biogenic and not-biogenic features were shown. The importance of SEM to detect the origin of the carbonate was discussed. Moreover a special interest was put to consider the role of roots in the precipitation of carbonate.
- The controls on calcrete-soil formation: climate, parent material, vegetation and time-relief were exhaustively analyzed through the study of several examples of ancient and recent calcretes deposits.
- At basin scale, the arrangement of these carbonates in the overall infill of the basin has been used for stratigraphic analysis, either because they (especially calcretes) may be indicators of sequence boundaries or because their characteristics reflect different accommodation rates during basin infill.

The main conclusions were:

- Three main factors control the formation of these carbonates: the position of the water table, the host rock, and the period of subaerial exposure.
- These terrestrial carbonates are widely distributed on floodplains and the distal areas of alluvial basins and should be used for reconstruction of the fluvial architecture.
- Their presence and characteristics can be used as indicators of aggradation, subsidence or accommodation rates, and therefore as indicators of different tectonic regimes.

Ana Maria Alonso-Zarza graduated in 1985 in Universidad Complutense of Madrid. Since then she started her PhD on the sedimentology and petrology of terrestrial deposits of the Tertiary of the Madrid Basin. She finished the PhD in 1989. She worked as a postdoctoral student till 1991, when she started teaching Sedimentary Petrology for geologist and engineering geologists. She also teaches a postgraduate courses on paleosols and also "Petrophysics and weathering of building stones" to graduate students. Her actual permanent position as Professor Titular was obtained in 1993. Her research and

publications, till 2005, focused on the analysis of the physical, chemical and biological processes that operate in terrestrial environments, focusing on palaeosols and palustrine deposits, in order to reconstruct ancient terrestrial landscapes. Her studies have centered mostly on the Triassic, Tertiary and Quaternary deposits of Spain. She has also worked in paleosols from Antarctica, Cayman Islands and China. In 2005 she started to work on caves as Natural Monuments and how the study of diagenetic processes in caves can help to preserve them or to minimize the impact of visits.

Доцент доктор Милорад Делчев Вацев навърши 70 години

Assoc. Prof. Dr. Milorad Vatshev at the age of 70



Доцент д-р Милорад Вацев е роден на 03.08.1937 г. Средното си образование завършва през 1955 г. в 18-то СОУ "Кирил и Методий" в София. Висше образование получава в Минно-геоложки университет (МГУ) през 1960 г. като "инженер-геолог по геология и проучване на полезни изкопаеми". Работи като ентузиазирани природоизследовател в Софийската геолого-проучвателна бригада и е геолог на обект (1960-1964 г.) при проучването на антимоновото находище "Рибново" и рудопроявленията в Западните Родопи, но данните са слабо публикувани. Като началник на отряд (1964-1966 г.) провежда геолого-картировачни и търсещи работи във Врачанския руден район и района на Краището и поставя началото на системна обработка на геоложките и геохимичните данни за Врачанския район.

През месец юли 1966 г. постъпва като асистент по стратиграфия към катедра "Геология и палеонтология" при МГУ. Утвърден е като сарши асистент през 1969 г., а през 1972 г. е главен асистент. Разработва дисертационен труд на тема "Палеогенът и неогенът от южната част на Местенския грабен – стратиграфия, литология и условия на седиментация", която защитава през 1979 г. в Московския държавен университет и има тук и посградационна специализация. Доцент по стратиграфия е през 1984 г. Води учебни занятия като асистент и доцент по Стратиграфия, Исторична геология, сборен курс по Стратиграфия, исторична геология и регионална геология на България и Фациален анализ. На магистерско ниво – по Фациален и палеогеографски анализ, и Седиментни геоконплекси от България. Лекциите му се слушат с интерес от студентите, защото съдържат богата съвременна информация и систематизирани обобщения и изводи, и са съпроводжани от системно подредени нагледни материали – диапозитиви, съвременни карти и модели. В съавторство с П. Бакалов през 1976 г. е изготвено и отпечатано учебно пособие "Ръководство за упражненията по обща геология", в което е систематизиран и изложен богат фактически материал и методични подходи и то е широко използвано и търсено.

Научноизследователската му дейност е насочена към изучаването на палеогенските седиментни и вулкански комплекси и неогенските седиментни последователности от грабенов тип седиментни басейни от ЮЗ България, Родопският район и Средногорската зона. В негови работи, които са 75 бр., са характеризирани и въведени съгласно съвременните изисквания около 100 бр. литостратиграфски единици. За тяхното датиране са приведени значителен обем нови палеонтологични материали, установени от него (фосилна флора, микро и макрофауна, фосилни риби и бозайникова фауна) и определени от изтъкнати специалисти от България, Русия и Франция при което са установени и нови видове за България и за науката.

При разработването на стратиграфията на конкретните палеогенски и неогенски грабенови седиментни басейни и тяхната корелация е подхождано и работено съгласно съвременните достижения и изисквания. Отделените литостратиграфски единици обхващат сходни по литоложки състав и генезис скални последователности, идващи като характерен елемент от басейнови и регионални цикли на седиментация и маркиращи последователни етапи на развитие. Възприетият комплексен литоложки, стратиграфски, генетичен и историко-геоложки методичен подход, е предопределил нужната база за стратиграфското изучаване и корелацията на седиментните последователности от отделените седиментни басейни. При това са разграничавани и характеризирани също така и регионални цикли на седиментация, изяснявани са връзките им с регионални събития и глобалните цикли на изменение нивото на Световния океан. М. Вацев със съвместните си работи със специалист по диатомейна флора от Московския университет е основоположник на диатомейния анализ при стратиграфските и палеоекологичните реконструкции в България. Като ръководител на българската група участва активно в изследванията по международния IGCP проект № 329 „Неогенът от Паратетиса“ и при междурегионалните корелации е акцентирал върху изясняването границите на регионалните цикли на седиментация, индивидуалните и общите черти на тези цикли и времевите връзки с циклите на седиментация от крупните неогенски седиментни басейни от ЮИ Европа.

От системни изследвания, провеждани от М. Вацев, са обхванати и палеогенските вулкани от Западните и Централните Родопи и се изяснява тяхната стратиграфска позиция и разчлененост, характеризират се техните петрографски, петрохимични, генетични и геодинамични особености и на свързаните с тях туфи и акреционнo-лапилиеви туфи, разглеждани са в цяла като специфична късноеоцен-ронноолигоценска дацит-риодацитова асоциация.

При изследванията на свлачищата от Местенския грабен се изясняват особеностите им и привързаността им към пространственото положение на различните типови скали и тяхната тектонска нарушеност.

Ръководил е и е участвал в проекти от МОН, Комитета по геология и ДСО „Редки метали“. Ръководил е научната

дейност на студенти и е бил консултант при разработването на геоложката част на редица дипломни работи.

Доц. д-р Милорад Вацев участва активно в научните конференции у нас, изнасял е доклади пред членове на Московското дружество на изпитатели на природата – секция седиментна петрография в Москва, участвал е в Конгреси на Карпато-Балканската геоложка асоциация.

През 1984-1989 г. е ръководител на ЦНИЛ „Геохимия“, като тогава е реорганизирана съгласно съвременните изисквания, преместена е в ново помещение, снабдена е с нова апаратура и укрепва организационно и в методичен аспект.

Катедра „Геология и палеонтология“

In Memoriam



Проф. дгн Тома Б. Добрев

**На 20.12.2006 г. се навършиха 85 години от
рождението на изтъкнатия учен,
изследовател и педагог.**

Роден на 20 декември 1921 г. в с. Ковачевица (Благоевградско). Починал на 27 юли 2004 г. Завършил Свердловския минен институт – геофизичен факултет. Асистент (1953), преподавател (1958), доцент (1960), професор (1969) в Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски".

Научни степени доктор (1958), доктор на геолого-минералогическите науки (1973), доктор хонорис кауза на Минно-геоложкия университет "Св. Иван Рилски" (2003 г.).

Научни интереси: сеизмични методи в геофизиката, подход и методи за интерпретация на сеизмични данни, дълбочинно сеизмично райониране, комплексиране на геофизичните изследвания за решаване на структурни и проучвателни задачи, физико-геолошко моделиране.

Лекционни курсове: Сеизмопроучване, Комплексиране на геофизичните методи на проучване, Основи на геофизиката.

Ръководни длъжности в МГУ: ръководител катедра "Приложна геофизика" (1969-1989), заместник-ректор (1966-1968), ректор (1976-1980).

Той е един от основателите на Минно-геоложкия университет през 1953 г. Като ректор на МГУ проф. Т. Добрев има голям принос за утвърждаването на нашия университет в национален център за подготовка на кадри с висше образование и научни изследвания в областта на геологията и минното дело.

Ние, неговите колеги високо ценим приноса му в областта на геофизиката и геологията. Проф. Добрев бе от това поколение геофизици, които пламенно и целеустремено работиха за развитието и утвърждаването на приложната геофизика като едно от водещите направления в съвремените геоложки и минни изследвания. Неговите творчески постижения в сферата на регионалната и комплексната геофизика, сеизмичните методи и инженерната геофизика засягат основните проблеми в тези области и се явяват съществен принос в геофизичната наука и практика.

Неговите студенти, колегите му не ще забравят творческият му ентузиазъм отдаден изцяло в полза на хората.

Проф. Т. Добрев ще остане в нашата памет със светлия си и незабравим образ на учен, преподавател и човек.

Дълбок поклон пред светлата му памет !

Катедра "Приложна геофизика", ГПФ

In Memoriam

Проф. Любен В. Димитров

**На 16.08.2007 г. се навършиха 95 години от
рождението на изтъкнатия учен,
изследовател и педагог.**

Роден на 16 август 1912 г. в гр. Сливен. Починал на 17 септември 1992 г.

Завършил Софийския университет "Св. Климент Охридски", специалност Физика през 1934 г. Работи най-напред в метеорологията, а през 1941 г. постъпва в основаната тогава Геофизична служба към Дирекцията на природните богатства, по-късно Комитет по геология. Той е един от първите геофизици работили в областта на приложните геофизични изследвания у нас за целите на геоложките проучвания на България. Повече от десет години участва в ръководството и извършването на първите системни гравиметрични снимки на страната в мащаби 1:500 000 и 1:100 000, както и в регионалните геомагнитни снимки. През 1957 г. той е избран за доцент в новооснованата катедра по Геофизични методи на проучване при Висшия минно-геоложки институт, сега университет, а от 1970 г. е професор в същата катедра, сега Приложна геофизика. Пензионирал се през 1977 г.

Научни интереси: гравитационни методи в геофизиката, магнитни методи в геофизиката, интерпретация на гравитационни и магнитни аномалии; анализ и трансформация на потенциалните полета; прилагане на геофизичните методи за решаване на геоложки задачи. Забележителни са неговите трудове върху тектониката на Североизточна България в светлината на гравиметричните проучвания, както и по съществуването на солни тела с техните дълбочинни характеристики, поведението на вулканогенните образувания в Бургаската депресия, и др. Значително място в научните му изследвания заемат теоретико-методичните въпроси по тълкуването на данните за потенциалните полета: разделителните възможности и изчисляването на висшите производни на гравитационния и магнитен потенциал, решаването на обратните задачи с аналитични продължения, използване на свойството подобие, и др.

Лекционни курсове: Гравипроучване, Магнитопроучване. Създател на първите програми и автор на първите учебници у нас по тези дисциплини.

Ръководни длъжности в МГУ: Ръководител катедра Приложна геофизика, 1957-1969 г.

Проф. Л. Димитров бе уважаван и обичан от колеги и студенти педагог и изследовател. Неговите качества на ерудиран лектор и интересен събеседник, неговата компетентност и находчивост в решаването на научните проблеми, както и художествените му произведения оставят в нашата памет незабравима следа.

Дълбок поклон пред светлата му памет!

Катедра "Приложна геофизика", ГПФ