годишник

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

Том 49 Свитък I: Геология и геофизика

ANNUAL

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

Volume 49 Part I: Geology and Geophysics



Издателска къща "Св. Иван Рилски" Publishing House "St. Ivan Rilski" София, 2006 Sofia, 2006

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

СЪДЪРЖАНИЕ

Раздел 1 – Геология, минералогия и полезни изкопаеми

Бакърджиев, С. Калибриране на геостатистически модели на рудни находища чрез "Cross-Validation" техника	7
Бакърджиев, С., Ю. Кирова. Стохастичен модел на валеж – отток (Rainfall-Runoff) за пукнатинни водоизточници	13
Балинов, В., Е. Занева-Добранова, М. Дончева. Особености на нефтоизвличането при находища с водонапорни режими, привързани към напукани колектори	19
Василева, М., К. Русков. Манганит и пиролузитови псевдоморфози по манганит от находище Кремиковци	23
Герджиков, Я., Н. Георгиев. Маришката разломна система – отседна зона по северния ръб на Родопите	33
Кортенски, Й., А. Здравков, Д. Пиналова. Прилагане на международната класификация на въглища в пласта и международната кодификационна система за въглищата от пернишката провинция	41
Петров, П., С. Стойков, М. Кацаров. Геоложки строеж на находището на зеолити "Мост"	47
Синьовски, Д. Нанофосилна биостратиграфия на горнокредните седименти в Източния Предбалкан между реките Доделен и Армера, южно от селата Гроздьово и Горен Чифлик, Варненско	51
Синьовски, Д. Нови данни за стратиграфския обхват на Беленската свита при гр. Бяла, Варненско	57
Токмакчиева, М. Типоморфни минерални асоциации в зоните на изветряване на медните орудявания в България	63
Цанкова, Н., О. Витов. Минераложки особености и разпределение на гранатовите минерализации в района на Сакар, Югоизточна България	69
Цинцов, З., Х. Попов, Б. Банушев. Археометалургични проучвания в района на с. Вълче поле, Хасковско	79
Ajdanlijsky, G., A. Zdravkov, J. Koertenski, D. Reischenbacher. Facial characteristics of the Roman formation (Aptian) – an example of one section near Mezdra, Western Forebalcan	85
Georgiev, V., P. Milovanov. Distribution of some rare elements in the Paleogene Sarnitsa Magmatic Group, Eastern Rhodopes	91
Georgiev, V., P. Milovanov. Petrochemical features of the Paleogene Sarnitsa Magmatic Group, Eastern Rhodopes	97
Jordanov , J., I. Darakchiev, V. Belogushev. Oil and Gas Resource Assessment Methodologies: Implementation in National Balance Estimation and Company's Exploration Policy	103
Kostov, I., R. I. Kostov. Systematics and crystal genesis of carbonate minerals	111
Mankov, S. The ore belt "Osogovo – Besna Kobila" (ore formations, morphogenetic types of deposits and physico-chemical conditions of genesis)	119
Ruskov, K., A. von Quadt, I. Peytcheva, S. Georgiev, S. Strashimirov, S. Stoykov. Geochemical and Sr- Nd isotope constraints on the Late Cretaceous magmatism in the area of the Zidarovo ore field	131
Valchev, B. K/T boundary in the turbidite sequence of the Emine Formation near Kozichino village, Bourgas district (Eastern Balkan): foraminiferal assemblages	137
Valchev, B., S. Juranov. Planktic foraminiferal changes across the K/T boundary in the Carpathian type Upper Cretaceous and Paleocene near Kladorub village, Vidin district (NW Bulgaria)	143

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

Николов, Г., М. Найденова. Управление на проекти в газоснабдяването	149
Николов, Г., С. Тодоров. Стандартизацията и либерализацията в газоснабдяването	155
Стоянов, Н. Т. Математически модел на възможното замърсяване на подповърхностното пространство	161
при временно депониране на оптови отпадъци в рудник чукурово	

Цветков, А. Геофизичен модел на офиолитова пластина, разположена в района на селата Аврен и Голямо и Малко Каменяне, Източни Родопи	167
Frantzova, A., G. Mardirossian. Classification of the remote sensing devices and technologies for the national hazard studies	173
Groudev, S., I. Spasova, P. Georgiev, M. Nicolova, A. Angelov. Treatment of acid mine drainage by means of a natural wetland	179
Milusheva, D., B. Ranguelov. The comparison between the strong earthquakes near Sumatra (26 th December 2004 and 28 th March 2005) and their tsunamigenic potential	183
Nenkov, N., S. Lyomov. Bottom hole shock absorber application improves drill core bit performance in wireline drilling	187
Parepa, S. Experimental reserches regarding the drilling pipe loadings in the starting phase of the mine drilling process	191
Radichev, R., S. Dimovski. Characteristics of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte Ore Region according to geomagnetic data	197
Radichev, R., S. Dimovski. Characteristics of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte Ore Region according to gravitational data	203
Ranguelov, B., A. Georgiev, E. Spassov. Natural hazards and early warning systems	209
Spasova, I., M. Nicolova, F. Veglio, S. Groudev. Leaching of gold from a polymetallic sulphide ore	213
Вацев, М. 125 години българска геология (1880-2005) и 80 години Българско геологическо дружество (1925-2005)	217

CONTENTS

Part 1 – Geology, Mineralogy and Mineral Deposits

Bakardjiev, S. Calibrate of geostatistics ore deposit models through Cross-Validation technics	7
Bakardjiev, S., J. Kirova. Stochastic model of Rainfall-Runoff for fissured aquifers	13
Balinov, V., E. Zaneva-Dobranova, M. Doncheva. Characteristics of the oil-recovery from deposits with water-pressure regime, bounded to fractured reservoirs.	19
Vassileva, M., K. Ruskov. Manganite and pyrolusite pseudomorphs after manganite crystals from Kremikovtsi deposit	23
Gerdjikov, I., N. Georgiev. The Maritsa fault system – a strike-slip zone along the northern margin of the Rhodopes	33
Kortenski, J., A. Zdravkov, D. Pinalova. Applying the international classification of in-seam coals and the international codification system to the coals from Pernik coal province	41
Petrov, P., S. Stoykov, M. Katsarov. Geology of the Most zeolites deposit	47
Sinnyovsky, D. Nannofossil biostratigraphy of the upper cretaceous sediments in the East Fore-Balkan between Dodelen and Armera rivers, south of the villages Grozgyovo and Goren Chiflik, Varna district	51
Sinnyovsky, D. New data about the stratigraphic range of the Byala formation near Byala town, Varna district	57
Tokmakchieva, M. Typomorphic mineral assemblages of the weathering zones in the copper mineralizations in Bulgarian	63
Tzankova, N., O. Vitov. Mineralogical peculiarities and distribution of garnet mineralizations in the region of Sakar, Southeast Bulgaria	69
Tsintsov, Z., H. Popov, B. Banushev. Archaeometallurgical investigation in the region of Vulche pole village, Haskovo district	79
Ajdanlijsky, G., A. Zdravkov, J. Koertenski, D. Reischenbacher. Facial characteristics of the Roman formation (Aptian) – an example of one section near Mezdra, Western Forebalcan	85
Georgiev, V., P. Milovanov. Distribution of some rare elements in the Paleogene Sarnitsa Magmatic Group, Eastern Rhodopes	91
Georgiev, V., P. Milovanov. Petrochemical features of the Paleogene Sarnitsa Magmatic Group, Eastern Rhodopes	97
Jordanov , J., I. Darakchiev, V. Belogushev. Oil and Gas Resource Assessment Methodologies: Implementation in National Balance Estimation and Company's Exploration Policy	103
Kostov, I., R. I. Kostov. Systematics and crystal genesis of carbonate minerals	111
Mankov, S. The ore belt "Osogovo – Besna Kobila" (ore formations, morphogenetic types of deposits and physico-chemical conditions of genesis)	119
Ruskov, K., A. von Quadt, I. Peytcheva, S. Georgiev, S. Strashimirov, S. Stoykov. Geochemical and Sr- Nd isotope constraints on the Late Cretaceous magmatism in the area of the Zidarovo ore field	131
Valchev, B. K/T boundary in the turbidite sequence of the Emine Formation near Kozichino village, Bourgas district (Eastern Balkan): foraminiferal assemblages	137
Valchev, B., S. Juranov. Planktic foraminiferal changes across the K/T boundary in the Carpathian type Upper Cretaceous and Paleocene near Kladorub village, Vidin district (NW Bulgaria)	143

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

Nikolov, G., M. Naydenova. Project management in gas supply	149
Nikolov, G., S. Todorov. Standartization and liberalization of gas supply	155
Stoyanov, N. A mathematical model of the possible pollution in the subsurface area caused by temporary	161
deposition of waste materials in mine "Chukurovo"	

Tsvetkov, A . A geophysical model of the Ophiolitic slab located around the villages Avren, Golyamo and Malko Kamenyane, Eastern Rhodope	167
Frantzova, A., G. Mardirossian. Classification of the remote sensing devices and technologies for the national hazard studies	173
Groudev, S., I. Spasova, P. Georgiev, M. Nicolova, A. Angelov. Treatment of acid mine drainage by means of a natural wetland	179
Milusheva, D., B. Ranguelov. The comparison between the strong earthquakes near Sumatra (26 th December 2004 and 28 th March 2005) and their tsunamigenic potential	183
Nenkov, N., S. Lyomov. Bottom hole shock absorber application improves drill core bit performance in wireline drilling	187
Parepa, S. Experimental reserches regarding the drilling pipe loadings in the starting phase of the mine drilling process	191
Radichev, R., S. Dimovski. Characteristics of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte Ore Region according to geomagnetic data	197
Radichev, R., S. Dimovski. Characteristics of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte Ore Region according to gravitational data	203
Ranguelov, B., A. Georgiev, E. Spassov. Natural hazards and early warning systems	209
Spasova, I., M. Nicolova, F. Veglio, S. Groudev. Leaching of gold from a polymetallic sulphide ore	213
Vatzev, M. 125 years Bulgarian geology (1880-2005) and 80 years Bulgarian Geological Society (1925-2005)	217

КАЛИБРИРАНЕ НА ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИ МОДЕЛИ НА РУДНИ НАХОДИЩА ЧРЕЗ "CROSS-VALIDATION" ТЕХНИКА

Светлозар Бакърджиев

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

РЕЗЮМЕ. Кригинг алгоритъмът минимизира пресметнатите несходства (разлики)по предварително определен модел на ковариация. Най-често за тази цел се използва линейна регресия. Основно и най-силно качество на метода е възможността модела да се калибрира по изходните данни. Правилният избор на вероятностния модел е гаранция за адекватното симулиране на стохастичната компонента на геостатистическия модел. В статията се предлага, калибрирането на модела се извършва чрез нелинейна регресия, която минимизира пресметнатите несходства (разлики) между изходните данни и прогнозите в техните координати (методът Cross-Validation). Резултатът е оценката на двата параметъра на характеристичната функция на "Устойчивото" разпределение. Методът е успешно апробиран по данни на рудни находища. Налице е подобряване на геостатистическите модели по отношение трите адитивни компоненти като вариациите на шума, на оценяваната променлива и квадратичната оценка на нейното отместване.

CALIBRATE OF GEOSTATISTICS ORE DEPOSIT MODELS THROUGH CROSS VALIDATION TECHNICS Svetlozar Bakardjiev

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

ABSTRACT. Kriging algorithm minimizes estimations of a dissimilarity (difference) on are preliminary set covariance model. More frequently for this purpose uses linear regress. The basic and strongest quality of this method is opportunities of model calibrate through the input data. The good choice model of probability is a guarantee for adequate of stochastic component of a geostatistical model. In work it is offered, calibrations of model it was made through linear regresses which minimizes the appreciated dissimilarities between the input data and prognosis in their coordinate (Cross-Validation Method). The result is estimation of two parameters of characteristics function of Stable distribution. The method is successes examination up to ore deposits data. It is available improvement of Geostatistical model concerning three additive parts, noise variance, and estimation variance, and squared estimation bias.

Въведение

Калибрирането на геостатистическите модели е свързано със следната статистическа задача. Нека са известни съдържанията в известен брой проби. Обектът се разбива на N еднакви по форма блокове V_i , всеки от който има обем V. За всеки блок е намерена оценка на средните съдържания $Z^*(V_i)$. Необходимо е да се определи за даден блок V_i , имащ оценка $Z^*(V_i)$, разпределението на честотите на съдържанията Z(v) вътре в обема V_i. Освен това е желателно да се знаят стойностите в по-малки участъци, където стойностите не превишават допустимите минимални стойности. Средната стойност в по-малки участъци, може да превишава някаква гранична стойност. Следва, че размерът на блока не влияе съществено върху стандартната статистическа оценка, докато при метода "Кригинг" той е найсъществената част на оценката. При малко на брой наблюдения, характерни предимно при стадия на предварителното проучване, Кригинг оценките обикновено се отместват от истинското средно. В този случай процедурата може да се разглежда като начин за управление на извадката в процеса на обработката на данните.

В случай, че информацията за изследвания от нас обект е малко тогава неговите пространствени свойства могат да се моделират с известна доза неопределеност, която идва от недостатъчната информация, с което броят на възможните варианти на интерпретация е много голям. В този случай е най-логично изходните данни да се разделят случайно на две еднакви съвкупности. Едната от съвкупностите се използува за получаването на интересните за изследването свойства, а другата – за проверка на изместеността на оценката. Еволюцията на тази идея е довела до въпроса: защо да се дели извадката само веднъж, защо да се дели наполовина, не може ли помалки части за участвуват в експеримента и т.н.?

Когато броят на данните не може да се увеличава, задачата за подобряването на геостатистическата оценка се свежда до подобряването на оценката, чрез максималното й приближаване към изходните данни. Естествено, това съвпада с идеята на "фитването" на регресионните модели, с тази разлика, че при геостатистическите модели "липсва" аналитичния модел – аналитична функция или диференциално уравнение, което обикновено се решава чрез методите на крайните елементи, крайните разлики или граничните елементи¹. В тази връзка, калибрирането на тези модели е силно и успешно развито в областта хидрогеологията, като теоретичните и практическите аспекти на калибрирането на хидрогеоложките геостатистически модели са развити и представени най-добре от Хил, Кули и Потлък (Hill, Cooley and Pollock, 1998), в съответния труд. За съжаление, предлаганият формализъм и конкретната компютърна реализация в програмните модули UCODE и MODFLOWP са пригодени и апробирани за работа единствено с хидрогеоложки данни.

Граници на възможната грешка

От позицията на геостатистическия формализъм е необходимо е да се пресметнат средните разлики в различни направления, представени OT експерименталните вариограми и да се подбере подходящ теоретичен модел, който адекватно да описва природната структура на променливостта в използваните данни. В този контекст, първата стъпка в геостатистическия анализ е построяване на експериментална вариограма. Както е известно, тя представлява двумерна зависимост (двумерна X-Y точкова диаграма) изразяваща разстоянието (h) между съвкупност от пространствено ориентирани променливи (обикновено характеризиращи свойствата на някакъв пространствен обект) групирани по двойки (всяка с всяка), от средно аритметичното от квадрата на разликите в техните стойности (γ).

$$/1/\gamma(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (f_{1i} - f_{2i})^2 .$$

С други думи при построяването на вариограма по оста X се нанася разстоянието (h) между дадена двойка стойности, за която се пресмята (γ), нанасящо се по оста Y. Получените точки се свързват помежду си с начупена линия, наречена вариографна крива.

Най-често при вариограмните анализи се използват т.н. "полувариограма"

/2/
$$\gamma(h) = rac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (f_{1i} - f_{2i})^2$$
, т.е. използва се

половината от стойността на (γ), така че нанесените стойности стават еквивалентни на статистическата дисперсия, или логаритмичната полувариограма – еквивалент на полувариограмата с логаритмувани стойности по Y.

Подробности относно математическия апарат на метода може да се намерят в Deutsch and Journel, 1992, Isaaks and Srivastava, 1989, Journel and Huijbregts, 1978 и др. Съществена част от геостатистиката интерпретира и развива проблемите, свързани с пространствения анализ на първичните данни.

¹ Изисква се наличието на фундаментално решение

Пространствен анализ

Съгласно Ж. Матерон (Matheron, 1963; 1971) пространствената променлива не може да се дефинира строго математически, тъй като е преходно звено между дискретни и непрекъснатите случайни величини. Тя се изменя в пространството от едно местоположение до следващото по "непрекъснат" начин и по тази причина близко разположените точки имат висока степен на пространствена корелация, докато точки, които са значително отдалечени са статистически независими. В този аспект, вариограмният анализ е съществена част от геостатистическото моделиране. Неговата цел е изявата на закономерностите в пространствената променливост на изучавания геоложки показател (Matheron, 1971; Rendu, 1981) и др. По дефиниция, стойността на вариограмата 2у (h) за дадено разстояние h в рудното тяло Ω е очакваната квадратична разлика между стойностите на пробите на разстояние h:

$$2\gamma(h) = E\{[x(z) - x(z+h)]^2\}.$$

Функцията ү(h) е полувариограма:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{ [x(z) - x(z+h)]^2 \}$$

Оценката $\gamma(h)$ на полувариограмата $\gamma(h)$ е:

$$\hat{\gamma} = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [x(z_i) - x(z_i + h)]^2.$$

където $x(z_i) - x(z_i + h)$ са n(h) на брой разлики между стойностите (съдържанията на полезен компонент), които са измерени в проби намиращи се на разстояние h помежду си в дадено направление.

Получените стойности за ү(h) се нанасят на x-у диаграма, където по оста x се нанася разстоянието h, а стойностите на гама се нанасят на оста y. Следователно, основното предимство на вариограмния анализ е, че чрез него се отчитат като средно различни природни свойства, като анизотропия, характер и степен на зависимост между съседните проби при различни разстояния между тях, ниво на общата променливост, прекъснатост и др., които са характерни за изследвания обект.

Сведения за метода "Cross Validation"

Термините "кръстосано сравнение" (Cross-validation) и Бутстрап (bootstrapping) са идеологически близки методи за оценка на общата грешка на геостатистическия модел. основаваща се на преоценка на случайни извадки от общата съвкупност от данни - (Weiss and Kulikowski 1991; Efron and Tibshirani 1993, White 1994). Методът се основава на статистики, получени от К на брой извадки от изходната съвкупност от данни, които съдържат еднакъв брой данни. В зависимост от получената грешка на кригинга, извадките се класифицират на "добри" и "лоши", като се търсят причините за разликите в сумарната грешка. Кригинг параметрите се коригират (апроксимират) спрямо резултатите от добрите извадки. Смята се, че методът е по-ефективен при малко на брой изходни данни – виж Goutte (1997). В тази връзка Стоун (Stone, 1977) предлага при по-големи извадки да се оценява генералното

отместване на кригинг оценката, вместо да се оценява общата грешка по случайни извадки, която очевидно ще нараства пропорционално на броя на данните от съвкупността. Нека Z_i, Z_j , представят две случайно избрани половини на изходната съвкупност от данни. Ако съвкупността от данни е геостатистически еднородна, то $Z_i \sim Z_j$, т.е. облакът от данни трябва да е с минимални отклонения от линейната регресия. Всяко отклонение или липса на корелация свидетелства, че броят на проучвателните изработки е недостатъчен за коректното прилагане на кригинга. В повечето от случаите е по-важно грешката, с която се съгласяваме да бъде по-ниска от тази, която ни лимитират кондициите.

За съжаление, повечето от кригинг методите слабо отчитат влиянието на количеството от данни върху сумарната грешка. Чрез методите на случайните извадки е възможно да се предложат множество обработки, вместо една, т.е. вместо една да се получат множество оценки. По тях е възможно да се строят доверителни интервали и да се следи за асимптотическото поведение на оценките, т.е. към каква стойност клонят същите. По този начин може да се подобри и оцени качество на оценката.

Методът "джобно ножче" (Jackknife method)

Идеята на метода се свежда до изключване на едно наблюдение, обработка на цялата останала информация и предсказване на резултата в изключената точка (наблюдение). По този начин е възможно да бъдат получени разлики (отмествания) за всички наблюдения. Един път те дават информация за дисперсията, втори път може да се построи корелационна диаграма между оценките и накрая - да се построи карта на разликите, т.е. да се планира мястото на новите изработки. В конвенционалната статистика, този метод още е познат и под името "метод на джобното ножче (Jack Knife)" тъй като е удобен да замени всички останали техники, както джобното ножче е призвано да замени всички останали инструменти. Начините за ползването на метода са описани в специалната литература. По-нататък ще видим, че формализмът е основополагащ при калибрирането на геостатистическия модел виж Исакс и др., 1989 (Isaaks and Srivastava, 1989).

При търсенето на ефективност допълнително може да се използва и т. нар. метод на интерполация с тегла на стойностите обратно пропорционална на отдалечеността -IDW, Inverse Distance Weighted Interpolation". Методът е известен още и като метод на Шепард – виж по-подробно описание в (Goovaerts, 1997). Той е един от най-често използваните интерполационни методи поради неговата простота и ефективност, слабо зависещи от броя на изходните данни. Основава се на допускането, че при определяне значението на всяка точка от "равномерната" мрежа, стойностите на по-близките точки трябва да бъдат вземани с по-голяма тежест от по-отдалечените, което е по същество и основополагащата се идея на метода «Кригинг». В соответствие с метода, стойността на всяка точка от новата мрежа на прогнозни, в общия случай интерполационни стойности, се определя на база на "N" на

брой най-близки точки, като стойността на всяка една, използвана при интерполацията точка, участва с обратнопропорционално тегло в зависимост от отдалечеността й спрямо търсената. В сравнение с чистата интерполация този метод дава възможност за получаване на позагладени повърхнини и за частично отстраняване на негативния отпечатък на грешни или аномални точки.

Методът има следва следния формализъм:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot f_i ,$$

където n е броят на използваните точки от "неравномерната" (началната) мрежа, f_i е функцията, определяща разпределението на стойностите (prescribed function values) (стойностите на данните от "неравномерната" мрежа), а w_i е подходящо избрана функцията на отдалечеността, приложена за всяка точка от неравномерната мрежа. Класическата форма на тази функция може да се изрази чрез уравнението:

$$w_i = rac{{h_i}^{-p}}{{\sum\limits_{j = 1}^n {{h_j}^{-p}}}}$$
 , където:

p е произволно положително реално число, определящо степенния параметър (това число определя в действителност степента на заглаждане на повърхнината). В конкретните случаи p = 2.

h_i е разстоянието от всяка точка от неравномерната до всяка изчисляваща се точка от равномерната мрежа.

/4.7/ $h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$, където (x, y) са координатите на интерполираните (получените по равномерната мрежа) точки, а (x_i, y_i) са координатите на използваните точки от началната (неравномерната) мрежа.

Функцията на влиянието или т. нар. "тегловна функция" варира от единица до стойност, клоняща към нула при повишаване на разстоянието между пресмятащата се точка и тази от неравномерната мрежа. Тегловната функция е нормализирана, така че сумата от теглата е равна на единица.

Класическата форма на функцията има вида:

$$w_i = rac{\left[rac{R-h_i}{Rh_i}
ight]^2}{\displaystyle{\sum_{j=1}^n} \left[rac{R-h_j}{Rh_j}
ight]^2}$$
 , където:

h_i е разстоянието от интерполиращата се точка до точка *i* от неравномерната мрежа;

R е разстоянието от интерполиращата се точка (участваща в изчисленията) до най-отдалечената точка от неравномерната мрежа;

n е броят на точките от неравномерната мрежа, участващи в изчисленията.

Тегловната функция е функция на "Евклидовото" разстояние (нарича се още Евклидова норма) е радиално симетрична на всяка една от началните точки от неравномерната мрежа. Като резултат получената повърхност е повлияна от всички използваните точки от неравномерната мрежа и следи тенденциите на изменение на последната, като притъпява ефекта на аномалните участъци. За тримерни определения формулата е абсолютно идентична на използваната в двумерното пространство и има вида:

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

Калибровка на модела

Както се спомена във въведението, калибровката представлява важна част от моделното решение. Тя цели чрез промяна на характеристиките на подходящо подбрани, предимно екстремни стойности на граничните условия на геоложката среда или на измерените в конкретни точки в масива стойности на изследваните компоненти, да се търси моделно решение, което максимално точно да интерпретира реалната геоложка обстановка.

Като изходни параметри, по които се извършва калибровката най-често служат измерени (опробвани) стойности на съдържанията на полезни и вредни компоненти в определени точки. Обикновено на корекция се подлагат характеристики на средата, където е налице по-голяма гъстота на геоложкото опробване.

За калибриране е подходящо да се използват и найблизките точки с налична информация. За калибрирането на геостатистическите модели на рудни находища се предлага следния формален подход – алгоритъм:

Предлагаме, калибрирането на модела да се извършва по следния начин:

Търси се минимума на функцията:

$$F = \sum_{i=1}^{N} \left(Z_i - \gamma Z_i^* \right)^{\alpha} \to \min$$

където Z_i е истинската (измерената) стойност на i-тото наблюдение;

 Z_i^* е прогнозната стойност в координатите на i-тото наблюдение;

 α е степенен показател, $0 \le \alpha \le 2$;

γ е мащабен показател, чрез който се търси намаляване на систематичната грешка.

Резултатът от калибрирането е намирането на такива стойности на α и γ при които $F \to \min$.

Кригинг коефициентите (w) се пресмятат по израза:

$$w = \left[\frac{\gamma^3}{\|d_1\|^* \|d_2\|^* \|d_3\|}\right]^d$$

където $\|d_j\|$ е евклидовото разстояние между точката на прогноза и і-тото наблюдение, като $\|d_1\|^* \|d_2\|^* \|d_3\|$ проекциите на $\|d_j\|$ в тримерното пространство.

Тогава Z_i^* се получава чрез уравнението на Кригинга $Z^* = \sum w_i z_i$, като се спазва условието $\sum w_i$ = 1.

Параметрите α и γ имат съответствието на параметрите на характеристичната функция на симетрично Устойчиво разпределение, виж Леви (Levy, Р. 1925). Съгласно теоремата на Хинчин (Khinchin. А. 1938) параметърът *а* може да приема стойности в интервала 0-2, като при стойност равна на 2, дисперсията на данните има крайна дисперсия. При $\alpha \!\!>\!\! 2$ дисперсията на извадката става безкрайна и от "нормално" разпределението става "Устойчиво". При *α*=1 разпределението става разпределението на "Коши", където и средната стойност е безкрайност. Параметърът γ има смисълът на мащабен множител, който може да служи и за косвена оценка на систематичната грешка на калибрирането.

Апробация

Използвани около 2300 данни от експлоатационното проучване на един вече отработен участък на находище "Челопеч". На фигура 1 и 2 са представени получените графики по метода на кръстосаната проверка. На фиг. 1 се вижда се, че са налице много на брой екстремни стойности, които силно деформират посоката на тенденцията за съответствие на данните. Този резултат показва, че геостатистическия модел се нуждае от корекции и/или планиране на ново опробване. Тъй като последното е невъзможно, се построи карта на разликите между истинските стойности и съответните оценки. Коефициентите на линейния модел имат съответно стойности 0.3822 за наклона на тренд линията и 13.007 за отместването по ординатната ос. Съответствието е много лошо, стойността 0.3822 е много отдалечена от стойността единица на "идеала", а стойността 13.007 е драматично отдалечена от стойността нула на "идеала". Всъщност, тази стойност съвпада със стойността на систематичната грешка на модела.



Фиг. 1. Взаимовръзка между реалните съдържания на мед в пробите (Сu) и техните кригинг оценки

Следователно, калибрирането е значително подобрило общата геостатистическа оценка, което личи и от сравнението между стойностите на R² при некалибрирания и калибрирания модел.



Фиг. 2. Взаимовръзка между реалните съдържания на мед в пробите (Cu) и техните крайгинг оценки, коригирани след калибрирането на модела

След калибрирането на модела – виж фиг. 2, се вижда, че стойността 0.8776 на наклона е значително близка до единицата, а стойността 2.736 е значително по близо до нулевата стойност, отколкото 13.007 в не калибрирания модел.

Препоръчана за публикуване от Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ Методиката на калибриране е апробирана успешно при масиви до 3000 наблюдения. Калибрирането при поголеми масиви ще се затруднява изчислително, поради огромния обем от сметки и от същественото наличие на екстремни стойности – "ураганни проби".

Литература

- Deutsch, C. V., A. G. Journel. 1998. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. Second Edition Oxford University Press, New York.
- Efron, B., R. J. Tibshirani. 1993. An Introduction to the Bootstrap. London, Chapman & Hall.
- Geostatistics for Natural Resources.
- Goovaerts, P. 1997 Evaluation of Geostatistics Methods. Oxford University Press, New York.
- Goutte, C. 1997. Note on free lunches and cross-validation. Neural Computation, 9, 1211-1215
- Hill, M. C., R. L. Cooley, D. W. Pollock. 1998. A controlled experiment in ground-water flow model calibration using nonlinear regression. – *Ground Water*, 36, 520-535.
- Isaaks, E. H., R. M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, New York.
- Journel, A. G., C. Huijbregts. 1978. *Mining Geostatistics*. Academic Press.
- Khinchin, A. 1938. *Limited laws for sums independed random variables*. O.N.T.I., Moscow St. Petersburg.
- Levy, P. 1925. Calcul des probabilities. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 350 p.
- Matheron, G. 1963. Principles of geostatistics. Economic Geology, 58, 1246-1266.
- Matheron, G. 1971. The Theory of Regionalised Variables and its Applications. – Cahier No. 5, Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau.
- Rendu, J.-M. 1978. *An Introduction to Geostatistical Methods of Mineral Evaluation*. Monograph of the South African Inst. Min. Metall.
- Stone, M. 1977. Asymptotics for and against cross-validation. Biometrika, 64, 29-35
- Weiss, S. M., C. A. Kulikowski. 1991. Computer Systems That Learn. Morgan Kaufmann.

СТОХАСТИЧЕН МОДЕЛ НА ВАЛЕЖ–ОТТОК (RAINFALL-RUNOFF) ЗА ПУКНАТИННИ ВОДОИЗТОЧНИЦИ

Светлозар Бакърджиев¹, Юлия Кирова²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; zarcobak@mgu.bg ² Национален институт по метеорология и хидрология към БАН, София 1784; įkirova@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Хидравличното поведение на водните ресурси в сложни хидрогеоложки формации, характеризиращи се със сложна физическа и геометрична хетерогенност във всички възможни нива и мащаби, е възможно да бъде моделирано чрез подходящо избрано отношение между входящи (P₍₁₎) и изходящи (Q₍₁₎) водни дебити. Математически те могат да бъдат представени като случайни, само-корелиращи се и крос-корелиращи се (не)стационарни процеси във времето (t). За всеки период от време за входяща информация може да се използва дискретното измерване на тоталния валеж, а за изходяща информация - дебитите на оттока. Разработеният стохастичен модел е реализиран компютърно, като резултатите са представени от една страна като Q-Q диаграми, показващи близостта между модела и експерименталните данни и диаграма на устойчивостта на детерминистичния процес, и нелинейно свързания с него стохастичен процес. Резултатите от компютърната обработка на конкретен емпиричен материал показват, че върху диаграмата(P₍₀₎) - (Q₍₀₎), спрямо точката на равновесие SE _{(P(0))} = (Stable Equilibrium) _{(Q(0)}), се оформя фамилия от траектории на зависимостта между (P₍₀₎) и (Q₍₀₎), които в зависимост от въздействието на стохастичната компонента са в близост или се отдалечават спрямо детерминистичните траектории, трасиращи стабилност на процеса валеж-отток.

STOCHASTIC MODEL OF RAINFALL-RUNOFF FOR FISSURED AQUIFERS

Svetlozar Bakardjiev¹, Julia Kirova²

¹University of Mining and Geology, Sofia 1700; zarcobak@mgu.bg ²BAS – National Institute of Meteorology and Hydrology, Sofia 1784; jkirova@abv.bg

ABSTRACT. Hydraulic behavior of water resource in complexity hydro geological formation, which one characterize with complexity physical and geometry heterogeneity in all possibility scales, possibly modeling with selected relationship between RAINFALL-RUNOFF discharge. Mathematically these models present as random self-correlated and cross correlated stationary process in the time. For a time period for input information be able to discrete measurement of total rainfall and for output information – the output flow debit. The elaboration stochastic model has computer realization, like results presents on one side in Q-Q – diagrams which one showed the closeness between present model and experimental data and nonlinearity stochastic process. The results of computer simulation in concrete empirical material showed that on diagram (P_(t)) - (Q_(t)) relation to SE (P_(t)) = (Q_(t)) (Stable Equilibrium) supposed dependency between (P_(t)) \varkappa (Q_(t)), which one is closed or far off toward deterministic trajectories, which tracing stability of rainfall-runoff process.

Въведение

С основополагащата се работа на Лабо и др. (Labat, Ababou, Mangin, 1999) за успешно реализиран модел на Волтер (Volterra expansion) в карстови терени се въведоха нетрадиционни насоки на стохастичното моделиране в хидрогеологията. Хидравличното поведение на водните ресурси в сложни хидрогеоложки формации, характеризиращи се със сложна физическа и геометрична хетерогенност във всички възможни нива и мащаби, е възможно да бъде моделирано чрез подходящо избрано отношение между входящи и изходящи водни дебити (Трошанов, 1992). Математически те могат да бъдат представени като случайни, само-корелиращи се и кроскорелиращи се (не)стационарни процеси във времето (t). За всеки период от време за входяща информация може да се използва дискретното измерване на тоталния валеж, а за изходяща информация - дебитите на оттока. При окончателния баланс трябва да се отчита и каква част от падналия валеж се оттича като повърхностен отток.

Публикуваните до момента решения не следват точно решенията на диференциалните уравнения, а флуктуират около тях. Нашите изследвания на поведението на тези системи показва, че отчитането на флуктуациите е удачно да се реализира чрез подходящо избрано управляващо уравнение. Решението на вероятностните уравнения е близко до начина на решението на уравнението на Чепмен-Колмогоров. С този вариант на решение се определят както широко мащабните детерминистични изменения, така и флуктуационната част, която не се като "случайна добавка" разглежда само към детерминистичното уравнение. Според проведени от нас компютърни експерименти се показва категорично, че при подобно опростяване не може да се очаква близост на решението с експерименталните данни.

Прост математически модел на равновесието

Нека да приемем, че натрупването във времето на водни количества, които са резултат от регистрираните

количества валежи има следната скорост: $\frac{di}{dt} = \alpha i$,

където і - са постъпили водни количества валежи, за времето (t) α е коефициент на интензивност на валежите.

Нека да предположим, че валежи почти липсват и е налице източване на акумулирани водни количества, т. е. *d*₇

 $\frac{dz}{dt} = -\gamma z$, където z са източените водни количества, за

времето (t), а γ е коефициент на намаляване на акумулираните водни количества. За да се изследва динамиката на взаимодействие между постъпващите и извличащите се водни количества трябва горните две уравнения да се обединят, т.е.

 $\frac{\partial i}{dt} = lpha i - eta i z$, където eta е източеното водно

количество за единица време (t). Скоростта на изменение на източваните водни количества може да се представи с аналогично уравнение:

 $\frac{\partial z}{\partial t} = \omega z i - \beta z$, където ω е достигнатата скорост

на акумулиране на водни количества в резултат от валежите за време (t).

Очевидно е, че отношението между т. нар. "вход-изход" (Input-output) водни дебити ще има цикличен характер. Когато валежите са много, то ще се увеличи и дебитът на водоизточника. Обратно, намаляването на валежите, ще доведе до намаляване на дебита на водоизточника. Разбира се, това на става моментално, а с известно закъснение, което се изразява с колебанията на обемите на валежите и водоизточника. Следователно, тези уравнения могат да се разглеждат в търсенето на точката на равновесие, т. е.

$$\frac{\partial i}{dt} = \frac{\partial z}{dt} = 0.$$

След като производните са равни на 0, то получаваме:

$$i = \frac{\gamma}{\omega}; z = \frac{\alpha}{\beta}$$

За да изключим променливата *t*, по горе описаните уравнения се обединяват и делят, като в резултат се получава следното равенство:

$$\frac{\partial z}{\partial i} = \frac{i\omega z - \gamma z}{\alpha i - \beta i z}; \qquad \frac{\partial z}{\partial i} = \frac{z(wi - \gamma)}{i(\alpha - \beta z)}$$

След стандартни преобразувания се получава:

$$\frac{\alpha - \beta z}{z} \frac{\partial z}{\partial i} + \frac{z - i\omega}{i} = 0.$$

Едно подходящо решение се дава от следното равенство:

 $\frac{i^{\gamma}}{e^{\omega i}} \frac{z^{lpha}}{e^{eta z}} = s$, където *s*-константа, от която зависи

отдалечаването на траекторията на решението спрямо точката на равновесие – (*SE*).

Типични решения са представени на фиг. 1. Вижда се, че решенията зависят много силно от стойността на *s*.



Фиг. 1. Траектории на зависимостта между валеж – отток в зависимост от стойностите на s – обозначени са траекториите при стойности на s = 0.04, 0.08 и 0.12

Следователно, емпиричното определение на *s* е твърде важно, тъй като тази константа отразява някакъв относително постоянен обем на подземните води, който естествено се колебае в зависимост от притока и оттока, но се предполага, че във времето тези колебания имат ергодичен характер. Известно е, че свойството ергодичност е налице, когато средното и дисперсията на отделните реализации (измервания) са съответни на параметрите на разпределението като средно и дисперсия, т. е.:

$$z = \mu_z(t) \ \sigma_z^2 = D_z(t)$$
, където t е времето.

Установяването (неустановяването) на ергодичност в изследването на процеса валеж-отток ще позволява (или обратното) да се премине от ежедневно към седмично или към месечно замерване обемите на валежите и съответния отток. За точното определяне на s е необходимо да се пресметне ресурсът на подземна водоносна система. тъй като тя е своеобразен буфер. балансираш равновесието в системата валеж-отток. Смята се, че това най-коректно ще се извърши чрез методите на геостатистиката. В този контекст, изборът на адекватен на данните геостатистически модел е част от общото моделно решение. Добре апробирано върху реални хидрогеоложки данни геостатистическо решение дава Петров (Петров, 2004) по данни за Софийския басейн. Моделът се базира неявно върху хипотезата за ергодичност, което е позволило на изследователя да се обединят някой наблюдения, които имат стратифициран характер. В минната геостатистика подобен тип обединяване на съседни наблюдения в една пробе се нарича композит. В тази връзка, първоначално, усилията трябва да се съсредоточат върху подходящия избор на вероятностния модел за описание на данните.

Избор на вероятностен модел за описание на данните

Изборът на вероятностен модел за описание на природните данни е много сложна задача. Преди появата на геостатистиката обработката на пространствените данни следваше рецептите на традиционната статистика, свързани с ползването в общо геоложката практика на статистически разпределения като нормално, гама, логнормално и др. Удачният избор на някое от тези разпределения, в контекста на приемливо за практиката адекватно описание на природния обект, се възприема от изследователските екипи като избор на вероятностен модел за описание на данните. В хидрогеоложката практика са известни измерени стойностите на проницаемостта, които представени чрез коефициента К_d варират в интервала от 10-17 до 10-12. Естествено, логаритмуването на такъв род данни потиска максимално дисперсията. Не случайно, бащите на геостатистиката Д. Криге (Krige, 1961) и Ж. Матерон (Matheron, 1963; 1971) определят за централна ролята на логнормалното разпределение при геостатистическо описание на повечето геоложки данни. След 1973 г. един от учениците на Матерон – Давид, (David, 1977), въз основа на натрупан опит, препоръчват логнормалния закон за базов в геостатистиката. С това се прави опит за въвеждането на задължителното логаритмуване на всички данни, които съдържат екстремни стойности. Паралелно с това се въвежда и понятието и формализма на т.нар. логнормален Кригинг. Самото название определя изискването разпределението на данните (нарастванията) да съответствува на Логнормалния закон. Обаче в последно време се натрупват факти, че логнормалната хипотеза не се потвърждава, особено при данни с високи стойности на дисперсията

През 1960 г. Бенуа Манделброт (Mandelbrot, 1960) показва, че повечето от природните данни не покриват тестовете на Колмогоров - Смирнов за съгласуваност с логнормалната хипотеза. Алтернативното предложение е, че данните са разпределени по т.нар. Устойчив закон. Този клас разпределения са всъщност едно широко обобщение на нормалния закон. Доказана от Леви (Levi, 1925) и Хинчин (Khinchin, А., 1938) теорема гласи, че показателят α , който стои в степента на u над експонентата на характеристичната функция и който при нормалното разпределение е равен на 2, а при $\alpha < 2$ дефинира безкрайна дисперсия. Както се спомена, практиката не може да осигури напълно този факт, тъй като това предполага безкрайна чувствителност и точност на измерванията.

Сведения за устойчивите разпределения

Както се спомена, устойчивите разпределения са теоретично обосновани от Пол Леви (Levi, 1925) и обобщенията, извършени от Хинчин (Khinchin, 1938). До публикацията на Манделброт (Mandelbrot, 1960) устойчивите разпределения не са имали широко практическо приложение, тъй като, с няколко изключения, нямат явни изрази за плътността или функцията на разпределение. Едно обобщение на теорията на устойчивите разпределения се дава през 1983 г. от Золоторьов.

В тази монография се дават различни подходи и решения за описание на реални обекти и процеси чрез устойчивите разпределения. В най-общ вид, характеристичната функция от случайната величина *X* се дефинира като:

$$g(u) = E(e^{iux}) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{iux} f(x) dx$$

Това е всъщност комплексната трансформация на Фурие f(x). За моментите на разпределението се използва израза: $\mu_{r}^{'} = E(X^{'}) = i^{-\gamma} g^{(\gamma)}(0)$. За устойчивите разпределения е важно да се пресметнат поне параметрите α и γ на характеристичната функция:

$$\chi(u) = e^{\gamma |u|^{\alpha}}$$

Параметърът α може да варира от 0 до 2. При $\alpha = 1$ се смята, че е налице разпределението на Коши, което се характеризира с това, че математическото очакване μ и дисперсията σ са равни на безкрайност.

Обяснението за безкрайността на математическото очакване μ е следното: Нека разполагаме n – на брой средни \bar{x} получени от n – на брой извадки от дадена Генерална съвкупност от данни. При нормалното разпределение получените n – на брой средни \bar{x} са сходими към математическото очакване μ .

При разпределението на Коши плътността има формата:

$$f(x) = C/(1+x^2).$$

Извадъчните средни *x* са разпределени също по разпределение на Коши, т.е. имат също безкрайна дисперсия.

Общо взето има обширна литература, в която се показва, че това важи и за природните системи от данни. При появата на екстремни стойности, т.е. с утежняване на опашката на разпределението, параметърът α намалява пропорционално своята стойност. Параметърът γ е мащабен, но не в пълния смисъл на това понятие. Повече сведения за Устойчивите разпределения могат да се намерят в цитираната литература.

Резултати и обсъждане

Предлагания от нас подход беше апробиран върху реални данни за валежните количества, подхранващи карстовият резервоар "Асеновград" – виж. Табл. 1. Замерванията обхващат интервала от 1959–2003 г. при едномесечно отчитане на количествата валежи. Карстовия резервоар "Асеновград", се смята за еталонен, тъй като е напълно дрениран от своите извори, виж Трошанов (1992).

Таблица 1	
-----------	--

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1959	8	5.6	24.2	58.4	67.6	203	34.1	74.1	57.8	39.3	52.1	21.9
1960	34.4	29.3	29.2	83.7	77.5	130.6	70.9	14	92.6	7.3	55.9	115.5
1961	42.8	7.8	29.1	16.8	114.9	131.1	71	34.2	16.8	31.8	106.4	60.8
1962	30.2	62.9	45.6	44.3	26.6	25.9	79.1	17.8	39.9	78.1	50.3	86.8
1963	88	70.2	43.8	69.4	156.1	55.8	68.7	3	13.3	58.7	77.7	39.1

1964	10.6	15.8	34.5	32.2	89.8	60.1	22.6	39.4	93.8	26.2	24.7	35.8
1965	37.3	25.9	71.3	39.1	64.6	0.8	5.7	22.5	0	19.6	29.6	22.1
1966	54.5	9.9	61.5	65	70.2	114.5	40.8	39.9	17	20.9	132.3	132.9
1967	22.9	9.2	61.8	50	63.9	80.5	58.8	4.2	30.4	19.6	41.6	29
1968	48.4	32.4	36.4	2.9	45	23.9	26.8	32.7	65.3	34.9	102.8	44.4
1969	103.4	58.2	60.3	15.2	25	71	35.5	2.3	82	0	3.6	124.7
1970	23.5	43.4	71.8	24.7	63.6	26.8	2.8	2.1	4.7	55.6	21.7	18.6
1971	56.2	51.4	65	46.8	71.5	84.2	149.2	7.8	135.7	49.9	38.5	33.3
1972	17.8	14	17.8	77.3	26.9	30.4	13.8	56.5	63.9	135.5	9.4	9.1
1973	32.7	40.4	54.7	82.2	27.5	37.1	86.7	30.8	70.5	11.9	24.9	13.4
1974	32.5	22.4	51.7	33.7	65.7	104.8	49.3	37.9	3.6	10.6	83.1	88.1
1975	50.8	26.7	33.9	86.7	66.4	58.8	42	125.9	9.8	69	40.1	20.7
1976	14.2	32.3	7.8	49.6	69.7	49.3	108.9	36.9	12	106.7	51.2	11.8
1977	47.2	38.4	6.3	5.2	73.1	67.5	72	0.3	64.9	1.6	19.8	65.6
1978	25.7	34.4	38.3	84.5	86.3	57.6	33.5	44.1	150.3	65.5	18	44.1
1979	22	83.7	2.9	52.8	182.4	60.8	17.5	54.7	4.1	91.4	96.8	38.7
1980	57.9	29	20.6	74.2	96.7	46.1	32.4	65	0	28.2	38.9	83.5
1981	89.1	35.1	13.4	21.4	46	47.4	31.8	40	3.3	0.6	74.9	27
1982	33.1	39.8	46.2	88.1	42.4	29.9	66.9	36.1	24.1	47.1	28.7	75.7
1983	15.5	6.1	20.7	13.6	17.3	143.6	139	45.5	49.7	14.5	17.9	53.7
1984	48.5	36.4	123.5	57.6	15.7	35.3	36.5	129.5	3.8	4	22.7	47.2
1985	25.4	13.9	24.7	33.9	32.8	33.7	13.9	54.5	17.7	8.1	91.2	3.3
1986	68	104.1	4.4	5.8	46.3	58	30.2	73	15.8	34.6	18.2	23.7
1987	45.7	28.1	57.7	136.6	33.5	19.1	73.4	14.1	7.9	40.9	58.6	22.6
1988	5.4	33.6	61.8	9.6	45.5	70.9	0.4	1.5	14.7	18.5	95.2	70
1989	0.6	6.5	91.7	5.9	84.7	77.5	47.2	34.8	23.4	4.8	31.6	43.9
1990	2	0.9	28	33.7	64	40	21.7	37	50	20	14.6	126.7
1991	32.5	0	42.7	51	63.9	19	80.5	55.8	17.3	43	45.9	14.8
1992	9.5	17.6	32.1	107.7	35.7	76.8	46.7	2.6	3.1	24.8	36	51.3
1993	12.3	L.D	1.2	4.2	63.3	18.2						
1994	9.5	32.8	27.3	63.6	14.3	43	20.1	8.6	6.2	85.4	51.8	58.3
1995	L.D	17.2	79.5	12.4	34.2	58	64.6	L.D	L.D	L.D	50.9	82.9
1996	21.6	73.3	29.1	11.6	51.5	L.D	L.D	L.D	L.D	17.5	67.3	60.1
1997	55	48.1	86.1	39.5	46.2	22.9	67.5	179.1	14.1	61.7	25.1	106.7
1998	80.1	77.5	35.3	8.3	121.6	40.3	37.5	0.4	80.6	60.5	100.2	27
1999	33	64.5	57	6.9	77.8	87.3	56.6	67.6	20.2	31.2	43.5	61.2
2000	39	14.8	10.5	57.7	22.1	22.5	6	2.3	34.7	30	16.5	7
2001	61	32.8	22.7	85.6	125.2	49.1	23.9	17.4	55.8	3.6	9.4	69
2002	10	0	137.4	45.5	43.3	26.8	177.9	32.3	70.3	47.1	42.1	66.2
2003	50.5	38	0.7	82.4	128.7	12.2	52	2.3	21.7	74.8	9.5	140.1

Данните за оттока са взети от каптиран карстов извор с. Мулдава № 721534/66 – виж таблица 2. Замерванията на дебита на карстовия извор съвпадат по време със замерванията на количеството валежи. Тази съпоставимост във времето позволи да се проиграе моделът на равновесието върху реално измерени емпирични данни.

Таблица 2

	I	II	111	IV	V	VI	VII	VIII	IX	х	XI	XII
1959	290	-	249	235	347	337	402	450	325	303	418	392
1960	-	551	363	505	591	615	571	547	507	490	472	580

1961	888	718	710	526	539	660	613	576	565	391	418	458
1962	407	477	546	753	629	526	408	-	388	420	518	385
1963	648	927	875	927	1049	1349	977	555	464	416	350	529
1964	453	371	521	-	522	-	689	516	316	245	276	303
1965	368	372	421	524	553	851	480	390	242	233	246	202
1966	143	167	199	235	464	524	512	449	313	203	257	463
1967	704	603	593	734	735	509	655	405	376	276	239	189
1968	151	175	171	251	230	228	177	222	177	166	171	266
	299	447	535	786	691	360	363	155	161	136	124	130
1969	-	_	750	682	504	-	310	170	135	134	115	113
	_	_	730	802	-	-	228	-	-	_	-	-
	141	214	341	485	547	408	346	307	294	274	183	_
1970	155	233	332	585	503	391	338	_	209	_	_	_
1010	224	420	372	529	454	383	-	_	-	_	_	_
	121	720 212	238	020 222	704	267	500	128	268	270	280	188
1971	140	212 227	230	730	650	207 452	106	420	200 272	219	209	100
	140	150	- 177	109	200	4JZ 077	490	244	212	100	192 070	202
1070	100	109	177	231	300	211	203	244	200	077	270	302
1972	-	-	-	-	-	290	262	249	249	277	261	-
	175	208	224	231	-	275	-	-	-	-	-	-
1973	167	201	254	493	921	634	346	267	184	134	141	152
	169		298	645	645		305	206	232	130	148	161
1974	153	126	129	200	182	259	93	193	167	147	234	162
	158	136	179	192	229	265	57	-	174	140	179	183
	384	251	271	314	422	810	533	453	442	376	351	313
1975	335	247	282	328	725	614	-	-	-	363	368	282
	-	-	-	-	-	-	-	469	-	343	312	-
1976	270	275	341	307	530	453	448	499	423	283	362	491
1977	493	465	551	457	351	473	320	405	295	308	165	176
1978	165	193	176	389	286	372	273	432	524	512	524	527
1979	429	436	461	519	571	585	760	560	439	718	387	500
1980	504	537	585	755	832	744	918	971	476	452	414	223
1981	323	303	523	554	667	526	601	550	556	315	138	117
1982	122	137	274	241	331	391	337	343	300	339	325	333
1983	263	318	313	276	280	325	251	291	210	205	216	214
1984	238	267	274	453	422	757	449	428	197	215	121	-
1985	215	236	174	248	190	169	196	92	110	132	182	125
1986	185	165	344	262	238	267	242	239	222	192	206	246
1987	240	235	290	345	326	326	491	285	347	293	293	293
1988	286	280	180	254	266	204	183	195	227	205	219	245
989	213	216	242	195	200	210	210	205	215	239	239	223
1990	237	211	216	251	130	250	250	248	250	200	210	170
1991	129	-			392	435	-	392	-	419	412	400
1992	381	-	140	-	201	-	235	-	-	210	157	115
1993	189	172	206	167	333	411	218	138	158	204	201	148
1994	125	136	120	198	215	272	252	204	182	263	216	206
1995	-	-	-	-	-				-			
1006	150	180	179	300	432	440	364	221	182	156	300	168
1007	200	305	200	650	422	105	3/16	300	21/	202	185	
1000	200	200	200	559	722 625	+33 676	380	300	214	200	201	217
1000	214	200	733	550	020	510	500	520	505	201	~~ 1	517
1999	100	-	-	-	-	-	-	-	- 175	-	- 175	-
2000	100	190	220	202	220	197	190	100	050	100	1/0	100
2001	162	170	218	145	515	320	360	255	250	235	210	210



Фиг. 2. Моделно решение по данните от таблица 1 и 2. С точки са показани емпиричните стойности, а с линии на ниво са показани

траекториите на съответните решения $\displaystyle rac{i^{\gamma}}{e^{\omega i}} \displaystyle rac{z^{lpha}}{e^{eta z}} = s$

Изведеният стохастичен модел (виж фиг. 2) е реализиран компютърно, като резултатите са представени от една страна като Q-Q диаграми (виж фиг. 3) показващи близостта между модела и експерименталните данни и диаграма на устойчивостта на детерминистичния процес, и нелинейно свързания с него стохастичен процес.



Фиг. 3. Съответсвие между емпирчните данни и модели представени чрез Q-Q Plot

Резултатите от компютърната обработка на емпиричния материал от таблица 1 и 2 показват, че върху диаграмата на баланса, спрямо точката на равновесие SE, се оформя фамилия от затворени траектории на зависимостта между

отношенията $\frac{lpha}{eta}$ и $\frac{\gamma}{arpi}$. От графиката се вижда се, че в

зависимост от въздействието на стохастичната компонента, детерминистичните траектории са в близост или се отдалечават спрямо детерминистичните траектории. По този начин, от една страна може да се

Препоръчана за публикуване от

Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

прогнозира във времето водния баланс в хидрогеоложки басейн, а от друга страна може да се предскаже доколко случайните вариации, поотделно и между отношенията

$$rac{lpha}{eta}$$
 и $rac{\gamma}{arpi}$, влияят върху устойчивостта на

детерминистичните решения, характеризиращи динамиката на водния баланс.

В заключение трябва да се отбележи, че получените резултати имат предварителен характер, тъй като изведените траектории на моделното решение на

равенството $rac{i^{\gamma}}{e^{\omega i}}rac{z^{lpha}}{e^{eta z}}=s$, могат да имат и други

траектории, които не се представят от затворени криви. Тази тенденция се забелязва в краищата на графиката, представена на фиг. 2. Обикновено, това "аномално поведение" се обяснява с нарушаване на съответствие между емпиричните данни тези на модела, които проличават в долната част на графиката – Q-Q Plot, представена на фиг. 3. В този аспект, изборът на вероятностния модел на описание на данните е не помалко важен от построяването на моделното решение.

Литература

- Петров, В. 2004. Хидрогеология на плиоценския водоносен комплекс на територията на Софийската котловина. – Автореферат на дисертация за получаване на научната и образователна степен "доктор", С., МГУ.
- Трошанов, Н. 1992. Оценка на подземното дрениране на Севернородопския карст към Горнотракийската низина. Инж. геология и хидрогеология, 22, 10-27.
- David, M. 1977. Geostatistical Ore Reserve Estimation. Elsevier.
- Khinchin. A. 1938. Limited Laws for Sums Independed Random Variables. O.N.T.I., Moscow – St. Petersburg.
- Krige, D. G. 1961. A statistical approach to some basic minevaluation problems on the Witwatersrand. – J. Chem. Metall and Min. Soc. South Africa, 1951 52, 6, 119-39.
- Labat, D., Ababou, R., Mangin, A. Nonlinearity and nonstationarity in rainfall-runoff relations for karstic springs. To appear in: *Proceedings of XXVIII Congress of I.A.H.R.* (*Graz-Austria*), 1999; Reprint in S.E.R.R.A.
- Levy, P. 1925. Calcul des probabilities. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 350 p.
- Mandelbrot., B. 1960. The Pareto-Levy random function and the multiplicative variation of income. Yorktown Height, N. Y., IBM Research Center Rept.
- Matheron, G. 1971. The Theory of Regionalised Variables and its Applications. Cahier No. 5, Centre de Morphologie Mathematique de Fontainebleau.

ОСОБЕНОСТИ НА НЕФТОИЗВЛИЧАНЕТО ПРИ НАХОДИЩА С ВОДОНАПОРНИ РЕЖИМИ, ПРИВЪРЗАНИ КЪМ НАПУКАНИ КОЛЕКТОРИ

Васил Балинов, Ефросима Занева-Добранова, Марияна Дончева

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

РЕЗЮМЕ. Съвременните подходи за оценка на нефтоотдаването на пласта се основават на физичната същност на механизма и кинетиката на процесите, съпътстващи разработването на въглеводородните акумулации. Тяхното прогнозиране предполага детайлно познаване на специфичните особености и конкретните показатели на резервоарните системи, както и на ролята и значимостта на многообразните фактори, върху характера на тези процеси. За условията на нефтените находища, привързани към напукани колектори тези фактори се свеждат основно до: модела на вместващото пространство; флуидонаситеността на различните типове празнини и тяхната взаимосъобщаемост; поведението на пластовата енергия; очакваните фазови превръщания на въглеводородната система, хетерогенната молекулна природа на скалната повърхност и др. Определяща роля има моделът на вместващия обем, съгласно който продуктивният хоризонт съдържа две относително автономни и същевременно взаимодействащи помежду си системи – пукнатинна и матрична. Те се характеризират с принципно различен механизъм на извличане на нефта.

В настоящата работа се разглеждат само част от тези проблеми, свързани с механизма на нефтоизвличането при находища с водонапорен режим, привързани към напукани колектори и с различна степен на съхраняване на пластовата енергия.

CHARACTERISTICS OF THE OIL-RECOVERY FROM DEPOSITS WITH WATER-PRESSURE REGIME, BOUNDED TO FRACTURED RESERVOIRS

Vasial Balinov, Efrosima Zaneva-Dobranova, Mariana Doncheva

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

ABSTRACT. The contemporary approaches for appraisal of the oil-recovery are based on the mechanism and the kinetics of the processes, attending the exploitation of the hydrocarbon accumulations. The prognosis of the character of these processes supposes detail knowledge of the specific characteristics and the concrete reservoir systems' parameters and of the role and the significance of variable factors. For the conditions of the oil deposits, bounded to the fractured reservoirs, these factors reduce mainly to: the model of the capacity space; the fluid-saturation of the different types of hollows of their interaction; the behaviour of the layer energy; the expected phase transformation of the hydrocarbon system, the heterogeneous molecule nature of the rock surface, etc. Of a great importance is the capacity volume, according to which the productive horizon contains two relatively independent and in the same time interacting systems - fractured and matrix ones. They are characterised on principle by different mechanism of oil-recovery. In the present work only a part of these problems are examined. They are connected to the oil-recovery mechanism in deposits with water-pressure regime, bounded

to fracture reservoirs and with different degree of the layer energy preservation.

Въведение

Проблемът за извлекаемостта на въглеводородните ресурси от земните недра има важно теоретично и практическо значение. Той има различни аспекти: геоложки, физични, физико-химични, технологични. Детайлното познаване на конкретните природни условия и обуславящи характера на процесите, факторите. представлява важна предпоставка за правилното им тълкуване и прогнозиране. Това създава определени възможности за контрол и управление на отделни елементи от тези процеси, с цел повишаване на извлекаемостта на въглеводородните ресурси.

В настоящата работа се разглеждат само част от посочените проблеми. Те касаят физичните и физикохимичните аспекти на нефтоизвличането при находища с водонапорни режими, привързани към напукани природни колектори. Част от посочените проблеми са били предмет и на други изследвания на авторите (Балинов, 2002; Балинов, Занева-Добранова, 2002).

Обща схема на флуидоизвличането

Детайлното изучаване на механизма и кинетиката на процесите, съпътстваши извличането на въглеводородните флуиди, при различни природни предполага дефинирането условия, на по-обща, принципна схема на флуидоизвличането. за условията на напуканите естествени среди към които са привързани въглеводородните акумулации.

Съгласно съвременните представи, пукнатинната и матричната системи, представляващи основни елементи на модела на напуканите продуктивни пластове, се характеризират с принципно различни условия на извличане на въглеводородните флуиди:

- извличането на флуидите от високопроводящата пукнатинна система се осъществява в резултат на пластовата енергия и реализираните градиенти на налягането;
- извличането на въглеводородните флуиди от слабопроницаемата матрична система се извършва под действието на други сили (капилярни, еластични, капилярно-еластични, вътрешнопластови депресии и др.), чиято природа е твърде различна.

Специфичните особености на природните условия за конкретните резервоарни системи и въглеводородни акумулации, обуславят значително многообразие на отделни елементи от механизма на извличането на въглеводородните флуиди от двете системи. Познаването на тези условия и на влиянието им върху механизма на процесите предоставя възможности за прогнозиране, контрол и управление на някои елементи от тези процеси за повишаване извлекаемостта на въглеводородните ресурси.

Особености на нефтоизвличането при водонапорни режими (изтласкване на нефта с вода)

Активно-водонапорен режим

Единствения източник на пластова енергия при този режим е хидродинамичния напор на пластовите води. Поведението на основните показатели на разработката на залежите, които определят характера на процесите, съпътстващи нефтоизвличането е както следва: 1) запазване на пластовата енергия (постоянно пластово налягане) през целия период на разработването; 2) непроменящо се налягане на насищане на нефт с газ, което е по-ниско от пластовото налягане (отсъстват условия за отделянето на свободен газ); 3) постоянен експлотационен газов фактор, който е равен на пластовия; 4. относително постоянство на физичните свойства на нефта; 5. неравномерно движение на водонефтения контакт.

В съответствие с общата схема на нефтоизвличане, движението на нефта към експлотационните сондажи, в резултат на реализираните градиенти на налягането, се осъществява по пукнатинната система, до максимално извличане на нефта от нея (коефициентът на нефтоизвличане най-често превишава 90%). На определен етап от разработването на залежите настъпва процес на оводняване на продукцията на сондажите, който протича с нарастващи темпове. Високата степен на извлекаемост на нефта от пукнатинната система е обусловен от благоприятните условия на дрениране на продуктивните хоризонти. високия филтрационен потенциал на пукнатините и неголямата роля на неблагоприятни фактори (ниски стойности капилярното на противоналягане, отсъствие на газ в свободно състояние. запазване на относително високи фазови проницаемости по отношение на нефта и др.).

Показателите на пукнатинната система оказват определено влияние върху характера на процесите и степентта на извлекаемост на нефта от нея. Различната размерност и пространствените взаимоотношения между пукнатините предполагат различни скорости на изтласкване от тях, което създава условия за неравномерно придвижване на водонефтения контакт. Определена негативна роля имат капилярните процеси, които допълнително забавят изтласкването микропукнатините. Независимо от тези негативни фактори. извлекаемостта на нефта от пукнатинната система е висока (над 90%).

Извличането на нефта от слабопроницаемата матрична система, която най-често съдържа основната част от ресурсите, е слабо ефективен процес, който протича след началото на оводняването на пукнатинната система.

Основната, а най-често единствена движеща сила е самопроизволното капилярно проникване на пластовата вода, която се съдържа в оводнените пукнатини. Този процес се контролира от молекулната природа на скалната повърхност, нефтонаситеността и размерите на порните канали на матричната система. Те определят посоката и интензитета на капилярните сили. Дори и при найблагоприятни условия, коефициентът на извлекаемост на нефтените ресурси рядко превишава 10%. При определени условия, след извличането на нефта от пукнатинната система, е възможно допълнително извличане на нефта от матричната система, в резултат на реализиране на вътрешнопластови депресии при форсиран режим на добив на течност от сондажите. Типичен представител на разглеждания тип въглеводородни акумулации e Тюленовското газо-нефтено находище.

Еластично-водонапорен режим

Основен източник на природна енергия са еластичните свойства на пластовата система. В зависимост от нейните мащаби, темповете на намаляване на пластовата енергия са различни във времето. На определен етап от разработването на находищата, към общия енергиен баланс се добавя енергията на разтворения газ и евентуално на новоформираната газова шапка Поведението на основните показатели на разработката на находищата е както следва: 1) намалямаща с различни темпове пластова енергия (намаляване на пластовото налягане); 2) началното налягане на насищане е по-ниско от пластовото; 3) първоначално постоянен експлотационен газов фактор (равен на пластовия), а след достигане на налягането на насищане – нарастване на неговата стойност; 4) изменение на физичните свойства на нефта при преминаване на разтворения газ в свободно състояние: 5) фазови трансформации на въглеводородната система след достигане на началното налягане на насищане; 6. неравномерно движение на водонефтения контакт.

От гледна точка на механизма на нефтоизвличането при разработването на въглеводородните акумулации от този тип, могат да бъдат отделени два периода: 1. период на намаляване на пластовото налягане до налягане на насищане; 2. период на продължаващо намаляване на пластовото налягане под началното налягане на насищане.

През пъвия период се осъществява процес на внедряване на поднефтените води и изтласкване на нефта от пукнатинната система. Ефективността на този процес зависи от мащабите на пластовата енергия (респективно от интезитета на нейното изтощаване). Изтласкването протича с нееднаква скорост в различните по размер и пространствено положение пукнатини, което създава условия за изпреварващо движение в зоните с повишени филтрационни свойства (макропукнатините). По-ниските скорости на изтласкване в микропукнатините. в определена степен са в резултат и от отрицателната роля на капилярните процеси. Най-често капилярните сили са противопосочни на външните движещи сили, поради преобладаващата хидрофобност на стените на микропукнатините. На определен етап настъпват процеси на частично оводняване, които се развиват с нарастващи темпове.

Продължителността на първия период и степентта на дрениране (оводняване на пукнатинната система) зависят от темповете на изтощаване на пластовата енергия (времето за достигане на началното налягане на насищане) и абсолютната стойност на налягането на насищане. При благоприятно съчетание на тези фактори е възможно пълно дрениране на пукнатинната система (извличане на основните нефтени ресурси от нея – над 90%) преди настъпване на втория период на разработването на находищата.

Принципно, характерът на процесите на нефтоизвличането от пукнатинната система през първия период, е аналогичен на този при находища с активноводонапорен режим.

Вторият период запачва с началото на дегазацията на пластовия нефт (формиране на дисперсна система). При наличието на ефективен напор на поднефтените води, енергията на отделящия се газ не стимулира, а по-скоро възпрепятства процесите на изтласкване на все още неизвлечения нефт ОТ пукнатинната система. Първоначално отделящата се в дискретно състояние газова фаза (под формата на малки мехурчета) се движи свободно в пукнатините, заедно с нефтената фаза, под влияние на нефта на поднефтените води. Много бързо обаче газовите мехурчета увеличават своя обем. При контакта им със стените на пукнатините се проявяват многочислени капилярни ефекти. Те възпрепятстват движението на нефта, до пълното му преустановяване в микропукнатините. При по-нататъшното увеличаване на обема на газовата фаза, тя става подвижна, но намалява рязко фазовата проницаемост по отношение на нефтената фаза. При определени условия (слабоефективен напор на пластовите води и формиране на трифазна система нефт-газ-вода) възможно преустановяване e на движението и самозаглушаване на сондажите. Това води

до намаляване степентта на извлекаемост на нефта от недренираните през първия период пукнатини. Типичен в това отношение пример е Селановското нефтено находище.

Механизмът на извличане на нефта от матричната система има редица общи черти и същевременно се характеризира с някои особености в сравнение с разглеждания при активно-водонапорен режим. И тук основна роля имат капилярните процеси, ефективността на които се определя от молекулната природа на твърдата повърхност, нефтонаситеността, структурата на порните канали и др. Определено влияние оказва отделящия се свободен газ, при достигане на условията на дегазация на нефта в матричната система. От една страна газовите увеличавайки своя мехурчета, обем, способстват изтласкването на част от нефта към пукнатиннат система. развиващото Същевременно. се капилярно противодействие възпрепятства проникването на вода в матрицата.

Положително влияние върху нефтогазоизвличането оказват някои специфични движещи сили, характерни за условията на изтощаване на пластовата енергия – вътрешнопластовите депресии и еластичните свойства на матричната система.

Вътрешнопластовите депресии са резултат от различните темпове на спадане на пластовото налягане в пукнатинната и матричната система. Поради това между двете системи се формира нарастваща във времето депресия, което създава условия за "изтичане" на част от нефта към пукнатините, преди началото на дегазацията му.

В условията на ненамаляващо пластово налягане се проявяват еластичните свойства на матричната система, което е предпоставка за извличане на допълнителни количества нефт, еквивалентни на еластичния ресурс. И в двата случая дегазацията на нефта оказва отрицателно влияние върху подвижността на нефта в условията на трифазна флуидна система и проявяващи се капилярни ефекти. В хода на разработването на находищата от разглеждания тип посочените движещи сили се проявяват едновременно, с различен и променлив интензитет, но като краен резултат степентта на извлекаемост от матричната система е ниска и едва ли превишава 10%.

Литература

- Балинов, В. 2002. Физични аспекти на разширяването на Чиренското газово хранилище. – *Геол. минер. ресурси*, 1, 2-6
- Балинов, В., Е. Занева-Добранова. 2002. Физични аспекти на нефтоотдаването при находища от селановски тип. – Год. МГУ, Геол., 45, 101-103.

Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

МАНГАНИТ И ПИРОЛУЗИТОВИ ПСЕВДОМОРФОЗИ ПО МАНГАНИТ ОТ 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 манганит е установено в най-ниските нива на окислителната зона в находище Кремиковци, в преходните нива между лимонитите и първичните мангансидеритови руди. Манганитът асоциира с Fe и Mn оксиди и хидроксиди (гьотит, вторичен хематит, лепидокрокит, романешит, минерални фази от изоструктурната серия криптомелан-холандит-коронадит, нсутит), барит и др. Минералът се образува при известен недостиг на кислород, съдържа манган под формата на Mn³⁺, в окислителни условия е нестабилен и се замества от пиролузит. На места в лимонитите са установени пиролузитови псевдоморфози по манганит, представени от агрегати от призматични, удължени по оста с кристали с ромбичен облик, с характерна щриховка и микропукнатини II (010). За изучаване на морфоложките и структурни особености, химизма, термичното поведение и спектроскопските характеристики на манганита и пиролузитовите псевдоморфози по манганит, са проведени СЕМ, микроскопски изследвания в отразена светлина, рентгеноструктурни и количествени химични анализи, ДTA – анализи, ИЧС и др. Коментирани са различните форми на срещане на пиролузита – първичен и вторичен, и фината структурна нееднородност на вторичния пиролузит, образуван при окислението на манганит.

MANGANITE AND PYROLUSITE PSEUDOMORPHS AFTER MANGANITE CRYSTALS FROM KREMIKOVTSI DEPOSIT Margarita Vassileva, Kalin Ruskov

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

ABSTRACT. Manganite is detected in the transition zone between the limonites and the primary Mn-siderite ores from the deeper levels of the oxidizing zone of the Kremikovtsi deposit. The mineral associates with Fe and Mn oxides and hydroxides (goethite, secondary hematite, lepidocrocite, romanechite, isostructural minerals cryptomelane-hollandite-coronadite, nsutile), barite, and others. The manganite is formed in some deficite of oxygen and contains Mn³⁺. It is unstable in the oxidizing zone and it is often replaced by pyrolusite. Pyrolusite pseudomorphs after manganite are observed at places within the limonite ores. The aggregates are set up of prismatic crystals with orthorhombic habit elongated along the *c* axis and characteristic streaks and fine microcracks parallel to (010). The morphology, structural features, chemical composition, thermal behaviour and IRS-characteristic of manganite and pyrolusite pseudomorphs after manganite are studied by standard procedures, including SEM, reflected light microscopy, XRD, quantitative chemical analyses, DTA, IRS and other analyses. In the present study are discussed the various forms of pyrolusite - primary and secondary, as well as the fine structural inhomogenity of the secondary pyrolusite, which is formed as an oxidation product of manganite.

Въведение

Наличие на манганит, образуван в началния стадий от формиране на зоната на супергенеза в находище Кремиковци, бе установено в лимонитите от хоризонт 460 в експлоатационната кариера на рудника, в най-ниските нива на окислителната зона, на границата с първичните мангансидеритови руди. На места сред лимонитите са наблюдавани агрегати от призматични пиролузитови кристали, представляващи псевдоморфози по манганит. Обект на изследвания в настоящата работа са манганитът и пиролузитовите псевдоморфози по манганит от находището, с цел детайлна минераложка характеристика на двете фази, изясняване на парагенетичните взаимоотношения и условията на образуването им. Извършени са изследвания за изучаване на морфоложките структурните особености, химизма, фазовите превръщания и спектроскопските характеристики на минералите. Коментирани са различните форми на

срещане на пиролузита и фината структурна нееднородност на вторичния пиролузит, образуващ псевдоморфози по манганит.

Независимо от обстоятелството, че пиролузитът (В – MnO₂) представлява най-широко разпространеният и основен руден минерал на мангана с важни промишлени приложения, литературните данни за съществуването в природни условия на два генетични типа пиролузит и за различните им характеристики, до голяма степен са непълни и (или) противоречиви. В по-старите литературни източници в миналото са описвани две разновидности на минерала, като в зависимост от хабитуса на индивидите (тетрагонален или псевдоромбичен) са използвани термините "полианит" или "пиролузит" (Рамдор, 1962; Минералы, Справочник, 1965 и др.). Някои автори като Potter and Rossman (1979), Rask and Buseck (1986), Amouric et al., (1991) обръщат специално внимание на двете форми на срещане на пиролузита: първичен отложен чрез пряка кристализация от разтвори и вторичен - образуван чрез заместване на други манганови оксиди и хидроксиди, главно на манганит. Вторичният пиролузит (псевдоморфози по манганит) се отличава от първичния със симетрия по-ниска от тетрагоналната, аномални оптични свойства, много ниска твърдост, високи адсорбционни свойства и химическа активност. Възможните причини за различията в морфоложките особености, химизма, структурната подреденост и физичните свойства на двата генетични типа пиролузит са разглеждани от сравнително малък брой изследователи (Yamada et al., 1986; Rask and Buseck, 1986; Amouric et al., 1991).

Окислителната зона заема над 2/3 от обема на находище Кремиковци и е формирана в резултат на супергенното изменение предимно на първичен мангансидерит, и в помалка степен – на феродоломит-анкерит и сулфиди (Атанасов, 1977; Канурков, 1988). Образувана е в три последователни стадия на супергенеза - предплиоценски (окислителен), плиоценски (редукционен) и постплиоценски (окислителен). Лимонитите са съставени главно от Fe и Mn оксиди и хидроксиди – гьотит, вторичен хематит, лепидокрокит, романешит, минерали от изоструктурната серия криптомелан-холандит-коронадит, пиролузит, тодорокит, и в по-ограничено количество от манганит, нсутит, халкофанит, рансиеит и др. (Запрянова и Стефанов, 1964; Даскалова и Радонова, 1970; Канурков, 1988; Василева ,1984, 1985, 1986; Василева и Смольянинова, 1989, 1996; Атанасов и др., 1990). Като съпътстващи фази в лимонитите присъстват супергенни карбонати, сулфати, сулфиди и др., отложени в субредукционни условия, след покриването на окислените руди от водите на плиоценско езеро. Образуването на Fe и Mn оксиди и хидроксиди се извършва предимно през първия окислителен стадий, и в по-малка степен – през последния, който започва след оттеглянето на плиоценското езеро и продължава при съвременни условия и днес.

Материал и методика

Проведени са детайлни изследвания на манганит, псевдоморфози пиролузитови по манганит и съпътстващите ги Mn и Fe оксиди и хидроксиди от найниските нива на окислителната зона на находише Кремиковци, главно от хоризонт 460 в експлоатационната кариера на рудника. За изучаване на морфоложките, структурните особености, химизма, термичното поведение и спектроскопските характеристики на минералите са извършени наблюдения в сканиращ електронен микроскоп и в отразена светлина под микроскоп, рентгеноструктурни анализи, количествени химични и полуколичествени емисионни спектрални анализи, ДТА – анализи и ИЧС. Морфологията на манганита и пиролузитовите псевдоморфози по манганит, е изучавана под бинокулярен стереомикроскоп и с помощта на сканиращ електронен микроскоп JEOL JSM-35-CF във фирма "Евротест контрол", АД. Микроскопските изследвания в отразена светлина са проведени с микроскопи Amplival-pol-U и NU-2 на фирмата Karl-Zeiss, Jena. Рентгеноструктурните анализи на природен манганит, пиролузит и нагрети фази са извършени с апарат TUR-M-60 (камера с d = 57,3 mm) и дифрактометър ДРОН-1(СиКа лъчение, Ni филтър), в

лабораторията по фазови методи и рентгеноструктурен анализ при МГУ"Св. Иван Рилски". В същата лаборатория са заснети термограмите и инфрачервените спектри на минералите. ДТА-кривите на манганит са регистрирани на апаратура "Derivatograph" при следните условия: DTA – 1/10, DTG - 1/10, G = 1500 mg, TG = 500 mg, скорост на нагряване 9°/min. Инфрачервената спектроскопия е осъществена с помощта на двулъчев инфрачервен спектрофотометър Specord 75 IR на фирмата Karl Zeiss. Спектрите са заснети в диапазона 400-3800 ст-1, като са използвани призми съответно от KBr (400-700 cm⁻¹). NaCl (700-700 cm⁻¹) и LiF (2000-3800 cm⁻¹). Препаратите са подготвени по стандартната методика чрез пресоване под вакуум на стритото на прах анализирано мономинерално вещество в таблетка с KBr. Количествените химични и полуколичествени емисионни спектрални анализи на манганит, пиролузитови псевдоморфози по манганит и придружаващите ги минерални фази, са извършени в ЦНИЛ "Геохимия" към МГУ "Св. Иван Рилски". Химичният състав на минералите е определян с използването на ICP-AAS анализ и класически химични методи.

Резултати и дискусия

Форми на срещане на манганита

За находки на манганит в находището се съобщава още от Запрянова и Стефанов (1964), които приемат, че минералът представлява съвременно образувание, изветрителен продукт по супергенен родохрозит и допускат присъствието и на ранен манганит, отложен в началния стадий от формирането на зоната на супергенеза, за сметка на окислението на първичен мангансидерит.

Наличие на ранен манганит бе установено в най-ниските нива на окислителната зона, в лимонитите от хоризонт 460 в експлоатационната кариера на рудник Кремиковци. Лимонитите имат тъмен до черен цвят, шуплеста и кавернозна текстура и са образувани в резултат на окислението и прякото заместване "in situ" на първичен мангансидерит. Съставени са предимно от Fe и Mn оксиди и хидроксиди (плътен и влакнест гьотит, вторичен хематит, лепидокрокит, романешит, минерали от изоструктурната серия криптомелан-холандит-коронадит, нсутит). В тях се наблюдават жили, прожилки, гнезда и импрегнации от барит, а на места – прожилки и овални по форма образувания от илит. Манганитът е отложен чрез заместване или чрез запълване на кухини и пукнатини. Минералът облицова стените на шупли, кухини и празнини в лимонитите или образува в тях отделни прожилки и участъци с неправилна морфология, с големина до 4-5 cm. На места включения и прожилки от манганит се установяват в барита, присъстващ сред лимонитите. Прожилките често показват зонален строеж. Симетрично от двете им страни в посока от контакта с лимонитите (или барита) към централната част, се наблюдават тънки върху романешитови слоеве, които нарастват грубозърнести манганитови агрегати, а в централната част в някои случаи остава незапълнена, линейно изтеглена кухина. Манганитът се наблюдава и като компонент на коломорфни образувания, в които алтернира със слоеве от финовлакнест романешит.



Фиг. 1. Микрофотографии на манганит от находище Кремиковци в СЕМ (a – h) и в отразена светлина под микроскоп, N II (i – l): a) Призматични манганитови индивиди с ясно изразена щриховка II на с оста ; b, c, d) Плочести манганитови кристали; e, f, g) Стълбчести, прътести манганитови индивиди; h) Иглести манганитови агрегати. Маркери – a) – 10 µm; b, c, d, f, g, h) – 100 µm; e) – 1000 µm. i) Призматични манганитови индивиди с асоциация с финовлакнест романешит; j) Люспести манганитови агрегати; k) Нарастване на манганитови агрегати върху финовлакнест романешит с включения от нсутит; I) Нарастване на манганит върху кант от нсутит, отложен върху барит.

С голямо разнообразие в морфологията се характеризира отложеният в празнини, шупли и кухини в лимонитите манганит. Често в едни и същи образци от лимонитите, манганитът се наблюдава под формата на агрегати от призматични по [001] индивиди, тънко до дебелоплочести кристали (фиг. 1 a, b, c, d), прътести, стълбчести индивиди, срастъци и агрегати (фиг. 1 e, f, g), груборадиалнолъчести, иглести до влакнести образувания (фиг. 1 h). При изучаване морфологията на минерала с помощта на СЕМ, върху призматичните удължени по оста *с* манганитови индивиди се установява ясно изразена щриховка, паралелна на удължението им (фиг. 1 а).

Манганитът има стоманеносив цвят и полуметален блясък. Цветът на чертата и праха на минерала е тъмнокафявочервен. В отразена светлина под микроскоп манганитът е сив, с отчетливо двуотражение, силно анизотропен. Показва червенокафяви вътрешни рефлекси.

ОТ призматични, Образува агрегати люспести, радиалнолъчести, иглести до влакнести индивиди (фиг. 1 і, i). Големината на отделните индивиди на места достига до над 1 ст. В изследваните микроскопски препарати минералът асоциира с гьотит, лепидокрокит, вторичен хематит, романешит, криптомелан-холандит, нсутит, барит. В някои препарати се наблюдава нарастване на манганит върху тънки кантове от нсутит, отложени върху окислен сидерит или барит, а на места манганитът включва дендритовидни нсутитови агрегати (фиг. 1 I). Дендритовидните нсутитови агрегати често служат като център, върху който се развиват типични сферолитови кори от влакнест романешит (фиг. 1 k). Обикновено манганитът тясно асоциира с романешит и представлява по-късно образувание, но се установяват и коломорфни агрегати с ритмично, неколкократно редуване на двата минерала. В манганитовите агрегати на места се наблюдава супергенен пирит, отложен в междузърновите пространства на отделните призматични и иглести индивиди, по микропукнатини или на граничната повърхност, на контакта между слоеве от романешит и манганит. Супергенен пирит се наблюдава също в пори и празнини в асоцииращия с минерала плътен гьотит. Присъствието на по-късен, супергенен, плиоценски пирит в изследваните минерални образувания, дава основание възрастта им да бъде определена еднозначно като предплиоценска.

Химичен състав

Данните от проведените химични изследвания показват, че съставът на манганита от находище Кремиковци е близък до теоретичния. В анализирания минерал се установява присъствие на следните компоненти: $Mn_2O_3 - 88,29$ тегл. %; $H_2O - 10,83$ тегл. %; $SiO_2 - 0,39$ тегл. %; CaO, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅, SO₃ - < 0,10 тегл.%; Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂ - < 0,05 тегл. %. Наличието на SiO₂ вероятно е свързано с механичен примес (микровключения) от кварц. Тривалентното състояние на мангана в изследваната фаза

предопределя ограничената възможност за структурни примеси в минерала, от които е допустимо участието на Fe³⁺. Манганитът се характеризира с леко повишени съдържания на Ag (0,003 – 0,01 g/t), Zn (0,1%), Cu (0,05 – 0,07%), Pb (0,02%), Fe (0,03 - 0,07%) и сравнително ниски концентрации на други примесни елементи (табл. 1). Същите елементи-примеси са характерни и за пиролузитовите псевдоморфози по манганит, докато в асоцииращия с манганита романешит се установява наличие на Ag (до 0.1 g/t), Pb (до 0,7%) и Cu (до 0,1%). Проведените енергийно-дисперсни анализи, ТЕМ и електронна микродифракция показват, че повишените концентрации на оловото в романешита, в някои случаи над 8 тегл.%, се обуславят от финодисперсни включения от коронадит-холандит (Василева и Смольянинова, 1989). Данни за съдържанията на елементите-примеси в манганит, пиролузитови псевдоморфози по манганит и асоцииращ с манганита романешит са представени в табл.1.

Таблица 1

Полуколичествени емисионни спектрални анализи на манганит,

nu	ЭΟЛ	vзитови	псевдомор	<i>bози п</i> с) манганит и	романешит	от находише	Э Кремиковии

Обр.№	Съдържание (%)							
Елементи	6	21	12-а	13	7	7-a	20	21-а
Pb	0.02	0.02	0.02	0.07	0.3	0.03	0.015	0.7
Cu	0.07	0.05	0.05	0.07	0.07	0.05	0.02	0.1
Zn	0.1	0.1	0.1	0.2	0.003	0.005	-	0.03
Ag (g/t)	0.01	0.003	0.01	0.01	0.03	0.07	0.01	0.10
Ti	0.0003	0.0003	0.0005	0.0003	0.001	0.0007	0.0003	0.001
Ni	-	-	-	0.0001	-	-	-	-
Мо	-	-	-	0.0001	0.0005	0.0003	-	0.0001
Be	-	-	0.0002	0.0001	-	-	-	-
Fe	0.03	0.07	0.07	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05
Са	0.03	0.02	0.03	0.05	>0.1	>0.1	>0.1	0.1
Mg	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003	>0.003
Ba	0.01	0.1	0.1	0.1	>1.0	>1.0	>1.0	>1.0
Si	0.03-0.1	0.03-0.1	0.03-0.1	0.03-0.1	0.03-0.1	0.03-0.1	0.03-0.1	0.03-0.1

6, 21. манганит; 12-а, 13. пиролузит; 7, 7-а, 20, 21-а. романешит



Фиг. 2. Дифрактограми на манганит (а) и нагрят до 300° С манганит (b) от находище Кремиковци; ру – слаб рефлекс на супергенен пирит

Рентгенографска характеристика, термично поведение и спектроскопски особености на манганита

Резултатите от извършените **рентгеноструктурни** анализи показват, че праховите рентгенови данни на изследвания манганит от находището, съответстват на еталонните (PDF 41-1379). За изучаване фазовите трансформации на минерала са регистрирани дебаеграми и дифрактограми на нагрят до различни температури манганит. Дифрактограми на природен и нагрят до 300°C манганит от находище Кремиковци са представени на фиг. 2 а, в.

ДТА – кривата на манганит от находище Кремиковци (фиг. 3) е аналогична на публикуваните от някои автори термограми на минерала (Dasgupta, 1965; Минералы. Справочник, 1967; Иванова и др., 1974; Frenzel, 1980). Характеризира се с наличието на интензивен, остър ендоефект при 350°С и два ендоефекта при 560°С и 900°С. Първият ендоефект съответства на дехидратацията на манганита и образуването на пиролузит, а следващите ендоефекти при 560°С и 900°С са свързани с трансформацията на пиролузита съответно в Mn₂O₃ (биксбиит) и Mn₃O₄ (хаусманит) (Dasgupta,1965; Frenzel, 1980).



Фиг. 3. ДТА-крива на манганит от находище Кремиковци

Литературните данни за термичното поведение на манганита не са еднозначни. В термограмите на минерала се установяват различия, изразени предимно в отсъствието или температурата на проява на втория ендоефект, съответстващ на фазовата трансформация $MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3$. Счита се, че върху температурата на фазовите превръщания при нагряването на минерала, оказват влияние редица фактори, като размер и морфология на минералните индивиди, чувствителност на използваната апаратура, условия на извършвания анализ - количество изследвано вещество, скорост на нагряване и др. (Dasgupta, 1965; Минералы, Справочник, 1967; Иванова и др., 1974; Frenzel, 1980). Вариациите в температурата на ендоефектите в ДТА – кривите на разновидности различните морфоложки манганит (едрокристален, зърнест, иглест, влакнест, прашести агрегати) могат да бъдат обусловени от различния размер на отделните микрокристали, тъй-като с намаляване размера на манганитовите частици силно нараства относителната повърхност и химическата активност на фазата, което влияе върху температурата на фазовите преходи. Според Rask and Buseck (1986) трансформацията MnO₂ → Mn₂O₃ при нагряването на манганита се осъществява посредством междинна фаза Mn₅O₈, която започва да се образува при температура над 300°С под

формата на микропрораствания в пиролузита. Тази фаза е диагностицирана с HRTEM и електронна микродифракция, е установявана в природни HO не образци. Експерименталните изследвания, проведени върху отделни монокристали показват, че при нагряването на манганита трансформацията в пиролузит се извършва топотаксично, като се съхранява ориентацията на кристалографските оси на изходния минерал (Dasgupta, 1965: Champness, 1971, Kohler et al., 1997), Според Kohler et al. (1997) пиролузитът, получен в резултат на нагряване на манганит до температура 300°C е структурно неподреден, псевдотетрагонален, със следните параметри на елементарната клетка (Å): ао = 4,409; bo = 4,421; со = 2,871. Подобни са резултатите и от проведените настоящи изследвания върху фазовите превръщания на минерала. Регистрираните дебаеграми и дифрактограми (фиг. 2в) на нагрят до температура 300°C манганит от находище Кремиковци, показват уширени, дифузни рефлекси и потвърждават образуването на структурно неподреден пиролузит. При изучаване с ТЕМ на такъв пиролузит, образуван за сметка на нагрят манганит, както и на природни пиролузитови псевдоморфози по манганит, Champness (1971) наблюдава наличието на щриховка и многобройни, линейно удължени ламеларни пори с големина около 85 Å, паралелни на (010). По-късно с на електронна микроскопия с висока помощта разрешителна способност (HRTEM) присъствието на щриховка, ламеларни прораствания, удължени пори, празнини и микропукнатини успоредни на оста с в пиролузитови псевдоморфози по манганит е установено и от други изследователи (Yamada et al., 1986; Rask and Buseck, 1986; Amouric et al., 1991). С тези микроструктурни особености вероятно са свързани и някои аномални характеристики на вторичния пиролузит.



Фиг. 4. ИЧС на манганит от находище Кремиковци

Инфрачервените спектри на манганита от находище Кремиковци (фиг. 4) са много близки до еталонните спектри на манганит от класическото находище Илфелд, Харц, Германия (Минералы, Справочник, 1967; Agiorgitis, 1969; Frenzel, 1980) и от Калахари, Ю. Африка (Kohler et al., 1997). В регистрираните спектри се наблюдават 3 интензивни ивици на поглъщане в нискочестотната област, с максимуми съответно при 447, 496 и 595 cm-1, две силни ивици при 1083 и 1149 ст-1 и по-слабо изразена ивица при 1115 ст-1 в средночестотната област. Тези абсорбционни ивици са много характерни за минерала (Минералы, Справочник. 1967: Agiorgitis. 1969: Frenzel. 1980). В сравнение с инфрачервения спектър на манганит. публикуван от Kohler et al. (1997), в спектрите на изследваната минерална фаза диагностичните ивици са изявени при малко по-ниски честоти, вероятно поради пониската чувствителност и точност на използваната апаратура.

Пиролузитови псевдоморфози по манганит

Манганитът съдържа манган под формата на Mn³⁺ и е образуван при известен недостиг на кислород в началния стадий от формирането на зоната на супергенеза в находище Кремиковци. В окислителни условия минералът е нестабилен и се замества от пиролузит. В лимонитите от находището на места се срещат пиролузитови псевдоморфози по манганит, най-често представени от агрегати от призматични, удължени по оста с пиролузитови кристали с ромбичен хабитус (Фиг. 5 a, b, c, d). При изучаване на морфологията им с помощта на СЕМ, върху пиролузитовите индивиди се наблюдава ясно изразена шриховка, а при по-големи увеличения и микропукнатини. успоредни на (010) (фиг. 5 e, f, g, h). Пукнатини на свиване II (010) се наблюдават в пиролузитовите агрегати и при изследване на микроскопски препарати в отразена светлина (фиг. 5 і). Според редица изследователи (Champness, 1971; Frenzel, 1980; Yamada et al., 1986; Rask and Buseck, 1986; Amouric et al., 1991) тези микропукнатини са много характерни и с диагностично значение за пиролузитовите псевдоморфози по манганит.

В литературните източници се отбелязва, че преходът на манганита (у-MnOOH) в пиролузит (β-MnO₂) се извършва топотаксично, като се запазва ориентацията на кристалографските оси, параметрите ао и со практически не се променят, докато по направление на оста в се извършва свиване с 15-16% (Strunz, 1943 – по Frenzel, 1980; Rask and Buseck, 1986; Kohler et al., 1997). Характерните за пиролузитовите псевдоморфози по манганит микропукнатини II (010) могат да бъдат резултат от свиването по оста в на манганита при прехода Mn³⁺OOH → Mn⁴⁺O₂ или е възможно да представляват реликтова, съвършена унаследена от замествания минерал цепителност. Наличието на ламеларни пори и празнини с размери до няколко стотин nm. както и на микропукнатини с широчина 200–300 Å, разположени паралелно на оста с е наблюдавано с помощта на TEM и HRTEM в пиролузитовите псевдоморфози по манганит (Champness, 1971; Yamada et al., 1986; Rask and Buseck, 1986; Amouric et al., 1991). Според Yamada et al. (1986) микропразнините и порите съставляват около 12% от обема на вторичните пиролузитови кристали. Това обстоятелство води до силно нарастване на относителната повърхност, адсорбционните свойства и химическата активност на минерала и следва да се отчита, като се имат предвид важните промишлени приложения на пиролузита не само в черната металургия, производството на бои и др., а също и използването му като катализатор.

Проведените през последните двайсетина години детайлни изследвания с помощта на HRTEM показват наличието на фина структурна нееднородност в пиролузитовите псевдоморфози по манганит (Yamada et al., 1986; Rask and Buseck, 1986; Amouric et al., 1991). В тях се установяват домени с фини. линейно ориентирани микропрораствания от друга Мп-оксидна фаза, чийто състав е дискусионен. Според различните автори, тази фаза е представена от рамсделит (Yamada et al., 1986), Mn₅O₈ (Rask and Buseck, 1986), ү-Mn₂O₃ или ү-Mn₃O₄ (Amouric et al., 1991). Според Rask and Buseck (1986) трансформацията на манганита в пиролузит в зоните на супергенеза може да бъде изразена със следната реакция: 4Mn³⁺OOH + O₂ = 4Mn⁴⁺O₂ + 2H₂O. Същите автори считат, че освен образуване на вторичен пиролузит, при разлагането на манганита се извършва отлагане и на фазата Mn₅O₈, съгласно реакцията: 20Mn³⁺OOH + O₂ = 4Mn²⁺2Mn⁴⁺3O₈ + 10H₂O. Допуска се едновременното протичане на двете реакции, като количеството на новообразуваната фаза Mn5O8 е в пряка зависимост от локалните вариации във фугитивността на кислорода, но се влияе и от други фактори, като размер на минералните зърна и др. Доколкото фазата Mn₅O₈ е диагностицирана само при HRTEM изследвания, посочените по-горе автори считат, че нейното съществуване в природни условия се нуждае от потвърждение. При изучаване на манганитпиролузитови агрегати с HRTEM, Amouric et al. (1991) установяват във вторичния пиролузит ориентирани. ламеларни прораствания от у-Mn₂O₃ или у-Mn₃O₄. Тъй-като фазата у-Mn₂O₃ е получавана само по експериментален път при нагряване на MnOOH във вакуум, посочените автори предполагат, че във вторичния пиролузит е повероятно присъствието на микропрораствания от у-Mn₃O₄ (хаусманит). Хаусманитът предхожда образуването на манганит и се отлага в зоните на супергенеза, като междинна фаза при окислението на Mn-съдържащи карбонати.

Структурни изследвания на пиролузитови Въпросът псевдоморфози no манганит. за съществуването в природни условия на два генетични типа пиролузит, представляващи същевременно и два различни структурни типа ß-MnO₂ е дискутиран в литературата. Някои автори разграничават две форми на срещане на пиролузита: първичен – отложен чрез пряка кристализация от разтвори и вторичен – образуван чрез заместване на други манганови оксиди и хидроксиди. предимно на манганит (Potter and Rossman, 1979; Rask and Buseck, 1986; Amouric et al., 1991). Първичният пиролузит притежава тетрагонална, рутилов тип структура, пространствена група *P4*₂/*mnm*, характеризира се с висока твърдост, съизмерима с тази на кварца (до 6,5-7 по Моос) и има твърде ограничено разпространение. Описван е от Strunz (1943) с наименованието "полианит" като отделен, самостоятелен минерален вид (по Rask and Buseck, 1986).



Фиг. 5. Микрофотографии на пиролузитови псевдоморфози по манганит в СЕМ (a - h) и в отразена светлина под микроскоп, N II (i) : a, b, c, d) агрегати от призматични, удължени по оста *с* пиролузитови индивиди; e, f, g) призматични пиролузитови кристали с ясно изразена щриховка, паралелна на (010); h) микропукнатини и щриховка, паралелни на (010) в пиролузитов кристал; маркери – a, b) – 1mm; c, d, e) – 100 µm; f, g, h) – 10 µm; i) агрегати от пиролузитови индивиди с пукнатини на свиване, паралелни на (010)

Много по-широко разпространение има вторичният пиролузит, образуващ псевдоморфози по манганит. Минералът показва симетрия по-ниска от тетрагоналната, аномални оптични свойства, много ниска твърдост (до 1.5), повишени адсорбционни свойства и химическа активност и често е хидратиран. Въз основа на уширението и разцепването на някои линии в праховите дебаеграми на вторичен пиролузит De Wolf (1959) и Potter and Rossman съществуването допускат (1979) на ромбична модификация на минерала. Детайлните структурни изследвания проведени от Yoshino et al. (1992), Kikuchi et al. (1994) върху монокристален вторичен пиролузит от Имини, Маракеш (Мароко), показват, че той е ромбичен, с марказитов тип структура (пространствена група Pnnm). В изследвания пиролузит се установява същата структурна деформация на октаедрите MnO₆, както характерната за манганита Ян-Телерова деформация, свързана С наличието в октаедрите на Mn3+. Съгласно публикувания от Kikuchi et al. (1994) хипотетичен модел на ромбичен пиролузит, минералът е хидратиран, освен Mn4+ съдържа и Мп³⁺. Деформацията на структурата до ромбична се дължи на присъствието в интерстициите между октаедрите MnO₆ на протони H+, образуващи йони OH-. В изследвания пиролузит се съдържа до 1-2% H₂O и неговият състав може да бъде представен с формулата Mn⁴⁺1-х Mn³⁺хHxO₂. Според структурния модел, разработен от Balachandran et al. (2003), в синтетичните и природни Mn диоксиди, включително в пиролузитите с нестехиометричен състав, се съдържат ваканции от Mn катиони, компенсирани от внедряването на H+ под формата на йони OH-.

Анализът на литературните данни, както и на тези от проведените изследвания показва, че за разлика от първичния пиролузит (β–MnO₂), характеризиращ се със стехиометричен състав и подредена структура, вторичният се отличава с нестехиометричен състав, често е хидратиран и има неподредена структура. В дебаеграмите и дифрактограмите на пиролузита от находището се установява уширение и разцепване на някои от рефлексите, свидетелстващо за структурна неподреденост (фиг. 6).

Заключение

Присъствието на манганит в находище Кремиковци е характерно за най-ниските нива на окислителната зона, за преходните нива между първичните мангансидеритови руди и лимонитите. Минералът е образуван в началния стадий от формирането на зоната на супергенеза, в резултат на окислението на мангансидерит и се среща в асоциация с Fe и Mn оксиди и хидроксиди – гьотит, вторичен хематит, лепидокрокит, романешит, минерали от изоструктурната серия криптомелан-холандит-коронадит, нсутит и др. Отлага се чрез заместване или по стените на кухини, празнини и пукнатини в лимонитите. На места в манганитовите прожилки, образувани чрез запълване на пукнатини, се наблюдава последователното отлагане на нсутит — романешит — манганит, свидетелствуващо за локални вариации в състава на минералообразуващите разтвори, при намаляваща активност на кислорода.



Фиг. 6. Дифрактограма на вторичен пиролузит (псевдоморфоза по манганит) от находище Кремиковци

Нсутитът е сравнително рядък минерал, но е диагностициран и при предишни изследвания, в по-късни генерации, като компонент на коломорфни И сталактитовидни криптомеланови криптомелан-И холандитови агрегати, отложени в кухини в лимонитите (Василева, 1985). Наличието на места в манганитовите агрегати на включения от супергенен, плиоценски пирит, дава основание възрастта им да бъде определена еднозначно като предплиоценска. Съвременни образувания от по-късен манганит, изветрителен продукт по супергенен родохрозит, представени в незначителни количества, са установявани в миналото от Запрянова и Стефанов (1964).

Манганитът се образува при известен недостиг на кислород, в окислителната зона е нестабилен и се замества от пиролузит. Пиролузитовите псевдоморфози по манганит са представени от призматични, удължени по оста с кристали с псевдоромбичен хабитус, с характерни микроструктурни особености – наличие на щриховка и микропукнатини, паралелни на удължението им. За разлика от първичния пиролузит (β-MnO₂), който има стехиометричен състав и подредена структура, вторичният пиролузит се отличава с фина структурна нееднородност. Според Yamada et al. (1986) наличието на микропукнатини, микропразнини и пори, съставляващи около 12% от обема на вторичните пиролузитовите кристали, предопределя много ниската им твърдост, както и високите адсорбциионни свойства и химическа активност.

Литература

- Атанасов, В. 1977. Особености 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.
- Атанасов, В., М. Василева, Л. Андреева. 1990. Халкофанит от находище Кремиковци. – Год. ВМГИ, 36, 1, 49-54
- Василева, М. 1984. Романешит от находище Кремиковци. Год. ВМГИ, 30, 2, 191-204.

- Василева, М. 1985. Криптомелан и нсутит от находище Кремиковци. – Год. ВМГИ, 31, 2, 143-155.
- Василева, М. 1986. Нови данни за вторичните манганови минерали от находище Кремиковци. Год. ВМГИ, 32, 2, 137-147.
- Василева, М., В. Смольянинова. 1989. Особенности вторичных марганцевых окислов и гидроокислов из месторождения Кремиковци. – *Тезисы докладов XIV* конгресса КБГА, 1.1, 2-4, С.
- Василева, М., В. Смольянинова. 1996. Тодорокит с а₀ = 24.38 Å и неподредена разновидност на минерала от находище Кремиковци. *Год. МГУ, 41, 1*, 49-54.
- Даскалова, Й., Т. Г. Радонова. 1970. Минералогия на окислителната зона от железорудното месторождение Кремиковци. Изв. ГИ, Сер. геохим., минер. и петрогр., 19, 141-164.
- Запрянова, Н., Д. Стефанов. 1964. Характеристика на железните и манганови хидроокиси от окислителната зона на Кремиковското месторождение. – В: *Сборник в* чест на акад. Йовчо См. Йовчев. С., Техника, 495-517.
- Канурков, Г. 1988. Железнорудните находища в България. С., Техника, 282 с.
- Минералы. Справочник. Т. 2, Вып. 2. 1965. М., Наука, 341 с.
- Минералы. Справочник. Т. 2, Вып. 3. 1967. М., Наука, 676 с.
- Рамдор, П. 1962. *Рудные минералы и их срастаний*. М., ИЛ, 1131 с.
- Agiorgitis, G. 1969. Über differential-thermoanalytische und infrarotspektroskopishe Untersuchungen von Mangan-Mineralien. – Tscherm. Miner. Petrogr. Mitt., 13, 273-283.
- Amouric, M., S. Parc, D. Nahon. 1991. High resolution transmission electron microscopy study of Mnoxyhydroxide transformations and accompanying phases in a lateric profile of Moanda, Gabon. – *Clays and Clay Miner.*, 39, 3, 254-263.
- Balachandran, D., D. Morgan, G.Ceder, A. van de Walle. 2003. First-principles study of the structure of stoichiometric and Mn-deficient MnO₂. – J. Solid State Chem., 173, 462-475.
- Champness, P. E. 1971. The transformation manganite → pyrolusite. *Mineral. Mag., 38,* 245-248.
- Dasgupta, D. R. 1965. Oriented transformation of manganite during heat treatment. – *Mineral. Mag.* 35, 131-139.

- De Wolff, P. M. 1959. Interpretation of some γ MnO₂ diffraction patterns. *Acta Crystallogr.*, *12*, 341-345.
- Frenzel, G. 1980. The manganese ore minerals In: Geology and Geochemistry of Manganese (Eds. Varentsov, I. M. and Gy Grasselly), Akademiai Kiado, Budapest, 25-157.
- Kikuchi, T., H. Miura, T. Yoshino. 1994. Orthorhombic distortion of pyrolusites. *IMA*, 16th General Meeting 1994, Pisa, Italy, Abstracts, 203-204.
- Kohler, T., T. Armbruster, E. Libowitzky. 1997. Hydrogen bonding and Jahn-Teller distortion in groutite, α-MnOOH, and manganite, γ-MnOOH, and their relations to the manganese dioxides ramsdellite and pyrolusite. – *J. Solid State Chem.*, *133*, 486-500.

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

- Potter, R. M., G. R. Rossman. 1979. The tetravalent manganese oxides: identification, hydration, and structural relationships by infrared spectroscopy. *Amer. Mineral.,* 64, 1199-1218.
- Rask, J. H., P. R. Buseck. 1986. Topotactic relations among pyrolusite, manganite, and Mn₅O₈: A high-resolution transmission electron microscopy investigation. *Amer. Mineral.*, *71*, 805-814.
- Yamada, N., M. Ohmasa, S. Horiuchi. 1986. Textures in natural pyrolusite, β-MnO₂, examined by 1 MV HRTEM. – *Acta Cryst.*, *B42*, 58-61.
- Yoshino, T., H. Miura, Y. Hariya. 1992. Crystal structure of orthorhombic pyrolusite. – 29th. Int. Geol. Congress, Kyoto, 24 Aug.-3 Sept., 1992, Abstr., Vol. 1, 216.

МАРИШКАТА РАЗЛОМНА СИСТЕМА – ОТСЕДНА ЗОНА ПО СЕВЕРНИЯ РЪБ НА РОДОПИТЕ

Янко Герджиков, Невен Георгиев

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

РЕЗЮМЕ. Маришкият разлом е една от най-често коментираните и цитирани тектонски зони в източната част на Балканския полуостров. Независимо от това дефинирането и трасирането на разломната зона, както и въпросите относно възрастта на асоцииращите структури и кинематиката на деформациите са с проблемен характер. Маришката разломна система се дефинира като зона, локализирала част от отседната компонента, свързана с ковергенцията между Африка и Евразия. За нея са характерни отседни деформации, проявени в интервала късна юра-миоцен. Ранните транслации в системата (J₃-K₂) са акомодирани от синхронни на зеленошистен метаморфизъм срязвания. За регионалните зони на срязване с такава възраст е характерно син- до посттектонското внедряване на гранитоидни тела. През късната креда обхвата на отседната система е най-голям, като включва Средногорието и части от Балканидите. Терциерната еволюция е по-слабо позната, но отново наличните данни указват за дясно-отседни транслации. Няма индикации за съзременна активност на отседната система, а свързваната с Маришката зона сеизмична активност е породена от доминиращите процеси на корова екстензяя в южна България.

THE MARITSA FAULT SYSTEM – A STRIKE-SLIP ZONE ALONG THE NORTHERN MARGIN OF THE RHODOPES lanko Gerdjikov, Neven Georgiev

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

ABSTRACT. The Maritsa fault is one of the most often commented and cited tectonic zones in the eastern part of the Balkan Peninsula. Yet, there is an obvious lack of modern data about the trace of the fault zone, the age as well as the kinematics of the shearing events. The paper is describing the Maritsa fault zone in the light of the new structural data as well as in the context of the oblique convergence between Africa and Eurasia. We are defining the Maritsa fault zone as a dextral strike-slip zone along the northern margin of the Rhodopes being active in the period late Jurassic-Miocene. The early Alpine dextral movements were synchronous to greenschist facies metamorphism in the Sakar-Strandja zone and in Srednogorie zone. Syn- to latesynkinematic granitoids have been emplaced into these strike-slip shear belts. The Upper Cretaceous dextral fault zones controlled sedimentation and magma emplacement in a large part of the Srednogorie zone. The Tertiary evolution of the Maritsa zone is poorly known, but existing regional data also suggest dextral shearing. The seizmicity, regarded as an evidence for the activity of the Maritsa fault zone is related to the dominating south Bulgaria extensional tectonics. There are no indications for current activity of the strike-slip fault system.

Увод

Бончев (1946) постулира съществуването на значимо разломно нарушение в централните части на Балканския полуостров, което счита за шевна линия, разделяща Родопите и Балканидите. Аналогично значение се придава на Асеновградския разлом (Яранов, 1960; стр. 31, 199). Тези идеи бързо стават популярни и в редица последващи публикации се излагат конкретни данни и идеи за различни части от тази разломна система, известна като Маришки Маришки дълбочинен разлом или Маришка шев. линеаментна система. Към края на 60-те години на миналия век се достига до концептуален модел, който в голяма степен не е коригиран до наши дни. В резюмиран вид основните му постановки се свеждат до разделянето на зоната на два основни сегмента - западен и източен (Бояджиев и др., 1971). Западният се следи по северния ръб на Родопите и Рила и в Ихтиманска Средна гора. Възприети са идеите на Яранов за поделянето на този сегмент на два клона – северен и южен. Източният сегмент се проследява в областта между Хасково и Харманли и от

там в южните склонове на Сакар (Боянов и др., 1965). Постепенно се налага и използването на пространственогеометрични критерии за определяне принадлежността към Маришката система. Към нея се причисляват всички субекваториялни разломи, разположени в съседство с предполагаемия ход на Маришката зона, независимо от тяхната кинематика и време на проява.

Кинематиката на деформациите в Маришката зона се обсъжда за първи път от Боянов (Боянов и Йосифов, 1983), които излагат редица мотиви за отседния характер на транслациите по разломите от Маришката зона. Подобна концепция се защитава и от Иванов (1989, 1998). Едва наскоро тези идеи намериха потвърждение в резултат на детайлни структурни изследвания (Иванов и др., 2001; Георгиев, 2003). Анализът на първоразрядните разломни зони, считани за част от Маришката система (Бончев, 1946; Бояджиев и др., 1971) показва, че те притежават отседна кинематика. Това налага ревизиране на редица представи, свързани с Маришката зона. В настоящата работа се прави опит за синтез на съществуващите данни за обхвата, времето на изява и кинематиката на деформациите в Маришката зона. Предлаганият анализ се базира на възприемане на кинематиката на деформациите за основен критерий при дефиниране принадлежността на разломните зони към Маришката система.

Обхват на изява на отседните деформации в тектонските зони, разположени на север от Родопите

Пластични отседни срязвания с ранноалпийска и кредна възраст

Деформации с отседен или с транспресионен характер са типични за Сакарската единица от Странджанската зона (Иванов и др., 2001; Герджиков, 2005; Gerdjikov and Ivanov, 2000). Изтотопни данни и стратиграфски репери указват за ранноалпийска възраст на доминиращо дясно-отседните деформации. Синметаморфните структури в алохтонната Велекска единица, а също и в непосредствената й дясно-отседни, подложка, също запечатват транспресионни деформации (Герджиков и Методиев, 2005). Аналогични дани са изложени и за турския сектор от Странджа (Natalin et al., 2005). Срязванията са с дясно отседен характер и са съпроводени от вариращ по интензитет метаморфизъм – от зеленошистен, в Маришката област, до амфиболитов фациес в областта между реките Марица и Тунджа. Установява се ясна пространствена и генетична връзка между отседните зони и тела от син- до пост-кинематични левкократни гранити (Gerdijkov, 2005).

Дясно-отседни пластични зони на срязване са типични и за Ихтиманското Средногорие. За първи път са описани от Иванов (1989) за част от Искърско-Яворишката зона (ИЯЗ). Bonev (1996) описва отседни зони, развити във високостепенните метаморфити северно от ИЯЗ. При проведените през последните години детайлни сруктурни изследвания в района на Ихтиманска Средна гора и Черни рид беше установено, че поне в интервала алб-кампан кинематиката на деформациите е била с преобладаваща дясно-отседна компонента (Ivanov et al., 2002; Georgiev and Lazarova, 2003; Georgiev et al., 2003; Velichkova et al., 2004). Роля на първоразредна структура, отделяща терени с различна възраст и степен на метаморфизъм в областта ИЯЗ. Деформациите играе наложеното И структурообразуване в заварения от ИЯЗ и сателитните й разломни нарушения до-горнокреден фундамент са се извършили в рамките на зеленошистен фациес (350-400°С). Вариации в степента на съпровождащия срязванията метаморфизъм са наблюдавани в някои пространствено и времево свързани с ИЯЗ синтектонски плутони. Тези локалитети са свързани със синтектонския характер на интрузиите и отразяват прехода от (600-500°С) към високотемпературни средно-Д0 относително нискотемпературни (400-300°С) условия на деформацията. Развитието на наложените R

метаморфната рамка и в кредните гранитоиди фолиация и линейност са свързани с деформациите в обхвата на системата на ИЯЗ. В преобладаващата част от разкритията кинематиката на пластичните зони на срязване е отседна, с известен възседен (компресионен) компонент. Резултатите ОТ изследванията на анизотропията на магнитната възприемчивост (AMS) на кредните плутони в района на Ихтиманска Средна гора показват, че в по-голяма част от местата на опробване формата на магнитния елипсоид е сплесната (oblate). което потвърждава идеята за наличието на компресионен компонент в регионалното поле на напрежение – режим на транспресия (Jordanova and Georaiev. 2003) Наблюдаваните на терена структурни доказателства за процеси на смесване на кисели и базични магми, както и смесеният корово-мантиен характер на гранитоидите и мантийният характер на габрата (Peytcheva and von Quadt, 2003). потвърждават дълбокопроникващия. коровомащабен характер на системата на ИЯЗ. Дясноотседните зони на срязване в района на Ихтиманска Средна гора и Черни рид представляват сравнително дълго-съществуваща разломна система действаща през късната креда. Най-старите пластични деформации в обхвата на ИЯЗ са датирани като алб-ценомански (106 Ма - Velichkova et al., 2004), а крехкопластичните деформации в обхвата на ИЯЗ засягат кампанския Вършилски гранит (82 Ma - Peytcheva et al., 2001).

Отседно доминиращи деформации в Средногорската къснокредна система

Схващането, че Средногорието представлява къснокредна вулканско-дъгова или островно-дъгова постройка, формирана в режим на чиста екстензия (Boccaletti et al., 1974; Nachev, 1978), в последните години е доразвита в модел на регионално проявена транспресия (Velichkova et al., 2004). Проведените в периода 2000-2003 г. теренни и структурни изследвания в района на Панагюрище установиха, че горнокредните седиментни басейни и вулканити са пространствено свързани с дясноотседни разломни нарушения. Самите горнокредни понижения представляват отседни или странично-дръпнати басейни, формирани в отседна обстановка. Идеята за сравнително дългоживуща дясноотседна система се потвърждават от факта, че седиментите на горнокредните басейни в областта са деформирани в обхвата на същите разломни нарушения, които са предопределили формирането на пониженията.

Налагащият се през късно-кредно време дясно-отседен деформационен режим е потвърден от изследвания в Стара Планина (Желев и др., 2003; Иванов и др., 2004 – непубликуван доклад за Геотехмин). Според Иванов и др. (2004) и Петров (2005) къснокредният магматизъм в областта на Етрополско, Златишко и Правешко, както и орудяванията в района на рудник Елаците и рудопроявлението около Правешка Лъкавица са пространствено и времево свързани с дясноотседни разломни нарушения.



Фиг. 1. Схема на част от Маришката отседна система. За основа е използван дигитален релеф от NASA (SRTM). Съкращения: РЗТ – разломна зона Теризли; ТЗ – вероятен ход на терциерните отседни зони в Горна Тракия и Източнородопското понижение; СРЕС – северно родопска екстензионна система; ПЗ – пластични отседни зони в Ихтиманското Средногорие; ПЗС – пластични отседни и транспресионни срязвания в западните части на Сакар-Странджанската зона

Отседни зони с терциерна възраст

Терциерната еволюция на Маришката система не е добре изучена и заслужава по-детайлен анализ. Редица налагат новопридобити факти преосмисляне на предполагаемите области на терциерна изява на Маришката система (вж. раздел Дискусия). Оказва се, че за голяма част от протежението на Маришката зона, включително и за трасирането на съвременната северна граница на Родопската зона, няма достоверни теренни данни за терциерни отседни деформации. Така например Боянов и Йосифов (1983) свързат формирането на палеоген-неогенските басейни от София до Горна Тракия с дясно-отседни движения, а Иванов (1989) счита, че найактивните движения по ИЯЗ са се извършили в терциерно време и оценява транслациите на 22-25 km. Обаче конкретни данни за разломните зони не са изложени. С напълно интерпретативен характер са и предложените хипотези за хода на Маришката зона на изток от меридиана на гр. Септември. Контрастно различни тълкувания са изложени в работите на Бончев (1961), Бояджиев и др. (1971) и Иванов (1998).

Въпреки липсата на конкретни данни, тектонският анализ на източната част на Балканския полуостров указва за възможна изява на терциерни дясно-отседни деформации в граничната област между Средногорието и Родопите. Доводите за една такава интерпретация могат да се намерят в редица изследвания и тектонски синтези: (1) При проучването на Тракийския басейн е установена разломната зона Теризли (Perinçek, 1991; Turgut et al., 1991), която деформира голяма част от седиментния разрез и се запечатва от плиоцен-кватернерни седименти. Сондажни и сеизмични данни сочат за дясно-отседния, транспресионен характер на движенията по зоната през миоцена. ГИС-базираният анализ на карти на Тракийския басейн сочи, че продължението на зоната на българска територия ще се очаква по южните или северните склонове на възвишенията Св. Марина (Ибреджек). (2) Формирането на силно огънатата орогенна дъга (ороклин) на Южните Карпати и в участъка на съчленяването им с Балканидите е немислимо без значими отседни транслации. Според модела на Fügenschuh and Schmid (2005) най-значимите дясно-отседни транслации са осъществени през миоцена. (3) Формирането и деформацията на редица еоценски и олигоценски басейни в западна България и източна Сърбия се свързва с дясноотседни транспресионни движения, проявени през миоцена (Костадинов, 1983; Marovic et al., 2001; Zagorchev, 2001). Напоследък бе установено, че Пернишкият басейн представлява типично отседно-контролирано понижение (Найденов, 2005). Дясно-отседният разлом по северния ръб на басейна срязва крехко горнокредните вулканити и вулканокластити и деформира еоценските седименти.

Изложените данни индикират съществуването на редица дясно-отседни системи, развити северно от Родопите. За повечето от тях е характерна изявата на миоценски транспресионни деформации, които водят до инверсия на разломите, ограничаваши еоценски и миоценски басейни и до локални навличания. Подобен модел може да обясни локалните навличания на гранити и метаморфити върху олигоценски седименти по северния ръб на Рила в участъка между селата Радуил и Сестримо. Тези навличания бяха разглеждани дълго време като част от регионален Севернородопски навлак (Иванов и др., 1989), но в контекста на новите изотопни и структурни данни (Герджиков и Готие, 2006), те са израз на краткотрайна компресия, проявена на фона на късноеоценскокватернерната екстензия по северния ръб на Родопите и Рила. Вероятна причина за тази компресия са десни

транспресионни движения (Иванов, 1998), свързани с терциерното придвижване на Родопите към северозапад (Боянов и Йосифов, 1983; Иванов, 1989). Този модел предполага съществуването на олигоцен-миоценски отседи в района на север от Рила и Родопите, които би следвало да се разглеждат като терциерна граница между Средногорието и Родопите. Съществен проблем е, че тези структури все още не са документирани.

Дискусия

Опит за дефиниране на Маришката разломна система

При дефинирането на Маришката ситема следва да се отчитат изложените даннни за широката проява на отседни деформации северно от Родопите, както и първоначалните дефиниции на Бончев (1946) и Яранов (1960). Съобразяваме се и с най-новите модели за еволюцията на корово-мащабни отседни системи (Şengör et al., 2004), според които отседните транслации водят до деформирането на значителни скални обеми (ширина в план над 100-200 km).

В широк смисъл Маришка разломна система обхваща всички субекваториални дясно-отседни срязвания. установени непосредствено на север от Родопите. Те ранноалпийските пластични включват: зони в Странджанската зона; късно кредните пластични зони от Ихтиманското Средногорие; разломните 30HN. контролиращи седиментацията, затварянето на басейните и магматизма през късната креда; терциерни разломни зони, водещи до транслация на корови фрагменти към ИЗТОК.

Два важни пункта от тази интерпретация заслужават коментар. (1) Приемаме, че терциерните дясно-отседни зони, разположени северно от Родопите, са довели до преместване на земекорни блокове към И-ЮИ. противно на изложените мнения за северозападна транслация на "Родопския масив" (Боянов и Йосифов, 1983; Иванов, 1989). Транслацията на отседно-ограничени фрагменти (escape tectonics) към изток е логична в контекста на геодинамика Балканите, терциерната на където единствена свободна граница на системата е Черноморския басейн (ср. с Гочев, 1976). (2) Неизяснена остава връзката на Маришката система с отседните системи от западна България (Боснекски разлом, Трънско-Кошаревски разлом и др.). Обект на следващи изследвания остават и отношенията между транслациите по Тимокския разлом и терциерните срязвания по Маришката система.

В тесен смисъл (по Бончев, 1946), Маришката система (шев) следва да се разглежда като северна граница на Родопската зона. Добре обоснована е ранноалпийската граница – това е ИЯЗ. Не стои така въпросът с терциерните, крехки отседни зони. Те не са добре проучени както в Ихтиманска Средна гора, така и в Източнородопското понижение. Важно е да се отбележи, че проблемът със северната граница на Родопската зона в голяма степен произтича от недостатъчно добре презицираната дефиниция на Средногорската зона.

Отседни срязвания и магматизъм

В продължение на десетилетия в геоложката литература се налага идеята на Яранов (1960) за "консолидиращата"/"спояваща" роля на интрузивите от Ихтиманското Средногорие. Аналогични възгледи се лансират и за западните части на Странджанската зона (Боянов и др., 1965). Противно на това мнение, данните ни индикират, че внедряванията на гранитоидите са отслабили (magmatic softening) зоните на срязване и са способствали локализирането на деформациите в тях.

Съществува ли източният сегмент на Маришката система?

В редица публикации (Боянов и др., 1965; Кожухаров и др., 1968) и в създаването на геоложката карта на България в М 1:100 000 са залегнали идеите за съществуване на субекваториална разломна система (приемана за източно продължение на Маришкия дълбочинен разлом) в западните части на Сакарската единица. С активността на разломи от Маришката зона се свързва и "блоковоразломния" строеж на областта северно от Хасково и Харманли (Боянов и Грозданов, 1989). Тези възгледи не се потвърдиха както от регионалните профилирания (Иванов и др., 2001; Gerdjikov and Ivanov, 2000), така и от кондиционното картиране в М 1:25 000 в западните части на Сакар (Саров и др., 2000 – непубл. доклад МОСВ). Част от отнасяните към Маришката система разломи се оказаха пластични отседни срязвания, други представляват неотектонски разседни нарушения, а съществуването на друга част е проблемно (прим. по южните склонове на Сакар). Ясно е, че източния сегмент на Маришката система не съществува, поне във вида му, предложен от Бояджиев и др. (1971) и Боянов и Грозданов (1989).

Съществува ли южният клон на Маришката система?

Традиционно, терциерната еволюция на Маришката система се свързва с развитието на южния клон на "дълбочинния разлом", който се трасира по северния ръб на Рила и Родопите. Комплицираният и изменящ се с времето характер на деформациите в тази област е считан за израз на транслациите в обхвата на дълбочинния разлом (Вълкова и Спиридонов, 1979). Наскоро изложихме нов модел за строежа на тази област (Герджиков и Готие, 2006). според който доминираща структура e Севернородопската екстензионна система (СРЕС). Тя е представена както от пластична зона на срязване, така и от полегато разседно нарушение. Транслациите по зоните на СРЕС са породени от изнасянето към повърхността на еоценските гранити и мигматити (von Quadt and Peycheva, 2005), разкриващи се в лежащото крило на зоните. Висящото крило на СРЕС е силно разломено от син- и антитетични разседни нарушения, които са причина за съвременния блоково-разломен строеж на областта (Вълкова и Спиридонов, 1979) и контролират формирането на редица олигоцен-кватернерни басейни. Важно е да се отбележи, че по ръбът на Родопите и Рила (от Кричим на северозапад) липсват доказателства за съществуването субекваториални или северозапад-югоизточно на простиращи се отседни зони.

Кватернерна активност на Маришката зона

Почти единодушно се приема, че с Маришката зона е свързана значителна сеизмична активност и затова тя се

разглежда като една от важните активни тектонски зони в България (Matova et al., 1996). Това възприемане, следва идеите изказани от Бончев (1946) и се базира на пространственото съвпадение на епицентрите С предполагаемата следа на Маришката зона. Възниква въпросът, дали тези земетресения наистина са свързани с Маришката отседна система. Отрицателният отговор е логичен в контекста на индикациите за затихналата роля на дясните отсядания в Тракийския басейн (Perincek, 1991; Turqut et al., 1991), на данните за доминиране на екстензионни деформации при сеизмичните срязвания (Van Eck and Stovanov, 1996: Kotzev et al., 2006) и на сеизмотектонския анализ (Shanov, 2000). По този начин, сеизмичността свързвана с Маришката система е израз на съвременната екстензия, доминираща южните части на Балканите (Ibid).

Маришката отседна система в контекста на конвергенцията между Африка и Евразия

Конвергенцията между Африка и Евразия се определя от отварянето на Атлантическия океан. Историята и геометрията на конвергенцията (Фиг. 2) са добре изучени (Le Pichon et al., 1988). Тези възстановки недвусмислено показват, че до ценомана движенията между двете мегаплочи са доминиращо отседни, а от ценомана до приабона конвергенцията се характеризира със значима отседна компонента. Несъмнено особеностите в относителните движения между Африка и Евразия са повлияли в голяма степен разпределението и характера на деформациите в Балканския сектор на Алпийския ороген.



Фиг. 2. Относителни движения между Африка и Евразия от мезозоя до наши дни. Линиите показват относителните премествания на точки от Африка спрямо Евразия. По Le Pichon et al. (1988).

Предлаганото тълкуване на Маришката зона е съобразено с изложените по-горе данни. Според нас, през алпийското развитие на Балканския сегмент от орогена Маришката система е била една от зоните, които са акомодирали отседната компонента на конвергенцията. По този начин Маришката система може да се разглежда като ясен пример за разцепване (partitioning) на деформацията в мащаба на орогена. Обособяването и локализирането на различните по характер деформации (отседни и компресионни) в обстановки на коса конвергенция са добре документирани и теоретично моделирани процеси (Jones and Taner, 1995; Tavarnelli et al., 2004).

Транслациите по разломните зони на Маришката система са изключително важни за палеогеодинамичните възстановки. Към този момент липсват конкретни данни за скоростите на отседните премествания. Ho И възприемането на най-консервативни стойности (сравнено с добре изучена система като Северноанадолската Sengör et al., 2004) – прим. 0.5 ст/год. изисква значителни промени на съвременната конфигурация на тектонските зони на Балканите. Дори и такива занижени скорости, приложени за интервала на мезозойската активност на зоната, означават И-ЮИ насочено преместване на Странджанската зона от порядъка на 300 km. Точната количествена оценка на транслациите изисква още нови изотопни и структурни данни.

Заключение

Натрупаните в последните десетина години структурни и изотопни данни позволяват нов поглед върху Маришката разломна система. Това спомага за по-доброто разбиране на времето на проява, обхвата, характера и кинематиката на срязванията, както и отношенията с процесите на внедряване на гранитоидни топилки. Считаме, че Маришката система е играла ролята на зона, акомодирала отседните транслации в Балканския сегмент на Алпийския ороген в интервала късна юра-миоцен. Вероятно движенията по зоната са били с вариращ интензитет в различните епохи, с максимуми по време на ранноалпийската орогенеза (Ј₃-К₁), по време на отварянето и компримирането на горнокредните басейни, а също така и към края на олигоцена. В широк смисъл, към Маришката система може да се отнасят всички субекваториални или простиращи се СЗ-ЮИ отседни зони, които са разположени на север от Родопите. В тесен смисъл системата следва да се разглежда в контекста на формулировката на Бончев (1946) и да се приеме за северна граница на Родопската зона. Движенията по сегментите на Маришката система са затихвали по различно време и в наши дни няма недвусмислени индикации за нейна съвременна активност.

Литература

- Бончев, Е. 1946. Върху тектонските шевове в Балканския полуостров. *Geologica Balcanica, 4*, 1, 13-27.
- Бончев, Е. 1961. Бележки върху главните разломни структури в България. – *Тр. геол. Бълг., Сер. Стратигр. и тект.*, 2, 5-29.
- Бояджиев, С., И. Боянов, В. Костадинов. 1971. Главни разломи в България. Маришки дълбочинен разлом. В: *Тектонски строеж на България* (ред. Й. Йовчев). С., Техника, 424-431.
- Боянов, И., Д. Йосифов. 1983. Марицкий шов и связанные с ним младоальпийские и позднеальпийские сдвиговие движения. – В: Путеводитель екскурзии "Марицкий шов и блоковое строение Болгарского Средногорья",

Проблем. Ком. IX многостр. сотр. АНСС, София, БАН, 34-42.

- Боянов, И., Д. Кожухаров, С. Савов. 1965. Геоложки строеж на южния склон на Сакар планина между селата Радовец и Костур. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, *26*, 2, 121-134.
- Боянов, И., С. Грозданов. 1989. Позднеальпийское строение в зоне Марицкого шва между г.г. Асеновград и Симеоновград. В: Путеводитель екскурзии Е-3, 14 конгрес КБГА, С., 102-112.
- Вълкова, Н., Х. Спиридонов. 1979. Маришкият дълбочинен разлом през неозоя в участъка между с. Варвара, Пазарджишко и гр. Костенец. – Сп. Бълг. геол. д-во, 40, 2, 167-173.
- Георгиев, Н. 2003. Строеж и условия на внедряване на гранитоидните магмени тела в южните и югоизточните части на Ихтиманска Средна гора. Автореферат док. дис., СУ "Св. Кл. Охридски", 29 с.
- Герджиков, Я. 2005. Странджанската зона елемент на вътрешните части на Алпийския ороген на Балканите. – Минно дело и геология, 6, 41-45.
- Герджиков, Я., Д. Методиев. 2005. Навлачната тектоника в Странджанската зона в светлината на нови данни от Дервентските възвишения. – Год. МГУ, 48, 1, Геол. геоф., 41-46.
- Герджиков, Я., Готие, П. 2006. Процеси на корова екстензия по северния ръб на Родопите и Рила. – *Геология и минерални ресурси*, 6, 23-26.
- Гочев, П. М. 1976. Новые данные о разломной тектонике Болгарии и части Балканского полуострова по космическим снимкам "ERTS". – *Geologica Balcanica, 6*, 4, 57-76.
- Желев, В., М. Антонов, А. Аризанов, Р. Арнаудова. 2003. Генетичен модел на Челопешката вулканска структура (България). – Год. МГУ, 46, 1, Геол., геоф., 77-81.
- Иванов, Ж. 1989. Строение и тектоническая еволюция центральних частей Родопского массива. – В: Строение и геодинамическая еволюция внутренних зон Балканид – Краищиды и Родопская область. Путевод. екскурссии 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. Саров, Е. Мишев, А. Внуковска. 1989. Севернородопският навлак между долините на реките Чепинска и Искър. – Год. СУ, ГГФ, 78, 1-геология, 64-73.
- Иванов, Ж., Я. Герджиков, А. Кунов. 2001. Нови данни и съображения за структурата и тектонската еволюция на Сакарската област, ЮИ България. Год. СУ., ГГФ, 91, 1, 35-80.
- Кожухаров, Д., И. Боянов, С. Савов. 1968. Геология на областта между село Клокотница и град Марица, Хасковско. Юбил. геол. сборник, 37-50.
- Костадинов, В. 1983. Тектонические взаимоотношения Краиштид и Среднегорья. – В: Путеводитель екскурзии "Марицкий шов и блоковое строение Болгарского Средногорья", Проблем. Ком.IX многостр. сотр. АНСС, София, БАН, 43-49.
- Найденов, К. 2005. Строеж и особености на късноалпийското развитие на Централните и източни части от Люлин планина. Дипл. работа, СУ "Св. Кл. Охридски", 56 с.

- Петров, Н. 2005. Механизъм на внедряване на горнокредните магмени тела в района на меднопорфирно находище Елаците. – Год. СУ, ГГФ, 1-Геология, 98, 43-64.
- Яранов, Д. 1960. *Тектоника на България*. С., Техника, 281с.
- Boccaletti, M., P. Manetti, A. Peccerillo.1974. The Balcanids as an instance of back-arc thrusts belt: Possible relation with the Hellenids. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, *85*, 1077-1084
- Bonev, K. 1996. Limite NW du massif cristallin Rhodopien. Relations avec le domaine des Balkanides. – Mem. Sc. Terre Univ. P. et M. Curie, Paris, no 96-21.
- Fügenschuh, B., S. M. Schmid. 2005. Age and evidence of core complex formation in a very curved orogen: Evidence from fission track studies in the South Carpathians (Romania). – *Tectonophysics*, 404, 33-53.
- Georgiev, N., A. Lazarova. 2003. Magma mixing in Upper Cretaceous plutonic bodies in the Southwestern parts of the Central Sredna gora zone, Bulgaria. – C. R. Acad. Bulg. Sci., 56, 4, 47-52.
- Georgiev, N., Z. Ivanov, A. Lazarova, D. Dimov. 2003. Upper Cretaceous magma mixing and emplacement of plutonic bodies in the southwestern parts of Centarl Sredna gora.
 Bulgarian Geological Society, Annual Scientific Conference, Abstract volume, 3-5.
- Gerdjikov, I. 2005. Tectonic position, fabric and significance of the Aleksandrovo and Pripek granites (South Bulgaria). *Сп. Бълг. геол. д-во, 66*, 1-3 (под печат).
- Gerdjikov, I., Z. Ivanov. 2000. Main features of pre-Tertiary basement of the Maritza area. Ann. Univ. Sofia, Geol. and Geog., 92, 1, 13-21.
- Ivanov, Z., N. Georgiev, A. Lazarova, D. Dimov. 2002. New model of Upper Cretaceous magma emplacement in the Southwestern parts of Central Sredna gora zone – Bulgaria. – *Geologica Carpathica*, 53; Special issue, Proceedings of the XVII Congress of CBGA – CD version.
- Jones, R. R., P. W. G. Tanner. 1995. Strain partitionig in transpression zones. *J. Struct. Geol.*, 17, 793-802.
- Jordanova, N., N. Georgiev. 2003. Anisotropy of Magnetic Susceptibility as a tool in structural geology – a case study from southwestern parts of Central Sredna gora, Bulgaria. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, *64*, 1-3, 69-84.
- Kotzev, V., R. Nakov, Tz. Georgiev, B. C. Burchfiel, R. W. King. 2006 Crustal motion and strain accumulation in western Bulgaria. – *Tectonophysics*, 413, 127-145.
- Le Pichon, X., F. Bergerat, M. J. Roulet. 1988. Plate kinematics and tectonics leading to the Alpine belt formation: A new analysis. – In: S. P. Clark, B. C. Burchfiel, J. Suppe (Eds.). *Processes in Continental Lithospheric Deformation*. GSA Special Paper 218.
- Marovic, M., D. Mihailovic, I. Djokovic, N. Gerzina, M. Toljic. 2001. Wrench tectonic origin of the Paleogene-Lower Miocene basins of Serbia between the central part of the Vardar Zone and the Moesian Plate. – PANCARDI 2001, Sopron, Abstracts, DP-9.
- Matova, M., H. Spiridonov, B. Rangelov, P. Petrov. 1996. Major active faults in Bulgaria. – J. Earthquake Prediction Research, 5, 436-439.
- Nachev, I. 1978. On the Upper Cretaceous basin model in the Srednogorie zone. C. R. Acad. Bulg. Sci., 31, 2, 213-216.
- Natalin, B., G. Sunal, E. Toraman. 2005. The Strandja arc: anatomy of collision after long-lived arc parallel tectonic

transport. – In: E.V. Sklyarov (Ed.) *Structural and tectonic correlation across the Central Asia orogenic collage: north-eastern segment.* Guidebook and abstract volume of the Siberian Workshop IGCP-480. IEC SB RAS, Irkutsk, 240-245.

Perinçek, D. 1991. Possible strand of the North Anatolian fault in the Thrace Basin, Turkey: an interpretation. – *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 75, 241–257.

- Peytcheva, I., A. von Quadt. 2003. U-Pb-zircon isotope system in mingled and mixed magmas. An example from Central Srednogorie, Bulgaria. – *Geophysical Research Abstracts*, 5, 09177
- Peycheva, I. A. Von Quadt, B. Kamenov, Z. Ivanov, N. Georgiev. 2001. New Isotope Data for Upper Cretaceous Magma Emplacement in the Southern and South-Western Parts of Central Srednogorie. – *Rom. Journal Miner. Depos.*, ABCD-GEODE 2001, Abstr. vol., 82-83.
- Şengör, A.M.C., O. Tüysüz, C. Imren, M. Sakınç, H. Eyidogan, N. Görür, X. Le Pichon, C. Rangin. 2004. The North Anatolian fault: a new look. – Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 33, 1–75.
- Shanov, S. 2000. Seismotectonic model of Maritza seismic region. Rep. Geod. Warsaw Univ. Techol., 3 (48), 73–81.
- Tavarnelli, E., R. E. Holdsworth, P. Clegg, R. J. Jones, K. J. W. McCaffrey. 2004. The anatomy and evolution of a

Препоръчана за публикуване от Катедра "Геология и палеонтология", ГПФ transpressional imbricate zone, Southern Uplands, Scotland. – *J. Structural Geology*, *26*, 1341-1360.

- Turgut, S., M. Turkaslan, D. Perinçek. 1991. Evolution of the Thrace sedimentary basin and hydrocarbon prospectivity. -In: Spencer, A. M. (Ed.), *Generation, Accumulation and Production of Europe's Hydrocarbons*. Special Publication of the European Association of Petroleum Geoscientists, Oxford University Press, Oxford, 415–437.
- Van Eck, T., T. Stoyanov. 1996. Seismotectonics and seismic hazard modeling for Southern Bulgaria. – *Tectonophysics*, 262 (1–4), 77–100.
- Velichkova, S., R. Handler, F. Neubauer, Z. Ivanov. 2004. Variscan to Alpine tectonothermal evolution of the Central Srednogorie unit, Bulgaria: constraints from 40Ar/39Ar analysis. – Schweizerische Mineral. und Petrogr. Mitteilungen, 84, 133-151.
- von Quadt, A., I. Peytcheva. 2005. The southern extension of the Srednogorie type upper cretaceous magmatism in Rila-Western Rhodopes: constraints from isotopegeochronological and geochemical data. – *Proc. Jubulee International Conference*, Sofia, 113-116.
- Zagorchev, I. 2001. Geology of SW Bulgaria: an overview. Geologica Balcanica, 21, 1-2, 3-52.

ПРИЛАГАНЕ НА МЕЖДУНАРОДНАТА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ВЪГЛИЩА В ПЛАСТА И МЕЖДУНАРОДНАТА КОДИФИКАЦИОННА СИСТЕМА ЗА ВЪГЛИЩАТА ОТ ПЕРНИШКАТА ПРОВИНЦИЯ

Йордан Кортенски¹, Александър Здравков¹, Димка Пиналова²

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

² Минпроект ЕАД, София

РЕЗЮМЕ. Въглищни пластове от Пернишката провинция (Пернишки, Бобовдолски и Пирински басейн) 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 Пиринския басейн, от пласт В и D на Пернишкия басейн и от IV пласт на Бобовдолския басейн са ивичести предимно хумусни от нисък ранг A – суббитуминозни със средно качество, а тези от въглищния комплекс на Пернишкия басейн и пластове Двоен и Надежда на Бобовдолския басейн са ивичести предимно хумусни от нисък ранг A – суббитуминозни с ниско качество. За всеки от изследваните въглищни пластове е определен код, съгласно Международната кодификационна система.

Ключови думи: кафяви въглища, Международната класификация на въглища в пласта, Международната кодификационна система, Пернишка провинция

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

Jordan Kortenski¹, Alexander Zdravkov¹, Dimka Pinalova²

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

² Minproekt Ltd., Sofia

ABSTRACT. The present study is based on coal samples from the Pernik coal province (Pernik, Bobovdol and Pirin 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 Pirin basin, as well as coal-beds "B" and "D" from Pernik basin and the "IV" coal-bed from Bobovdol basin are composed of mainly humic, banded, medium-grade sub-bituminous-A coals. In contrast, the coals from the "Coal complex" (Pernik basin) and coal-beds "Dvoen" and "Nadezhda" (Bobovdol basin) are mainly humic, banded, low-grade sub-bituminous-A. For each of the studied herein coal-beds a specific code was assigned, according to the International Codification System.

Keywords: sub-bituminous coal, International Classification of In-Seam Coal, International Codification system, Pernik 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 с висша топлина на изгаряне, определена на суха безпепелна маса, по-ниска от 24 MJ/kg и 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 не могат да се отпределят като такива с нисък ранг. Според Международната класификация на на въглищата в пласта въглищата с нисък ранг се разделят на категории С, В и А или на ортолигнити, металигнити и суббитуминозни.

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 осемцифров 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 – War,
%. 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 Пернишката провинция

Пернишки басейн. Подложката и бреговата ивица на басейна е изградена от палеозойски конгломерати, пясъчници и алевролити, долнотриаски конгломерати, пясъчници и алевролити, средно- и горнотриаски аргилити, варовици и доломити, юрски алевролити и аргилити, горнокредните андезити на Люлинския плутон и горнокредни сиенити и диорити от Витошкия плутон. Във въгленосните палеогенски наслаги се отделят следните пет задруги: конгломератна-пясъчникова; битумолитна; пъстра подвъглищна; въгленосна и на тънкослойните аргилити. Конгломератно-пясъчникова задруга. Изградена е от полигенни конгломерати с песъчлива до гравийна спойка, които се прослояват от полимиктови пъстроцветни пясъчници, като общата й дебелина достига до 250 m. Битумолитна задруга. Включва тънкослойни аргилити и мергели с прослойки от пясъчници. На места имат ивичест строеж, обусловен от наличието на органично вещество. Възрастта й е средноолигоценска. Дебелината на задругата варира от 0 до 50 m. Пъстра подвъглищна задруга. Дебелината й варира от 350 до 500 m. Възрастта й се приема за средно олигоценска. Седиментите, които я изграждат са пъстра алтернация от конгломерати, пясъчници, алевролити с характерен сивозеленикав и червеновиолетов цвят. Въгленосна задруга. Долната граница на задругата се маркира от появата на първите въглищни чернилки и черни глини. Дебелината й достига 100 m. Тя е представена от пясъчници, песъчливи глини, тънкослойни алевролити, аргилити и въглищни пластове. В централната част на басейна, въглищните пластове са пет с обща дебелина до 20 m. В северозападната част на басейна към Голямо Бучино въглищните пластове са събрани в един общ въглищен комплекс с дебелина до 30 m. Възрастта на задругата е определена като горноолигоценска. Задруга на тънкослойните аргилити и глинести мергели. Изградена е от мергели, като в горните нива се прослояват от тънки песъчливи прослойки. Тези седименти са късноолигоценски по възраст, като горната им част вероятно е с долномиоценска възраст. Дебелината на задругата на места достига до 500-750 m. Въгленосните наслаги са покрити от плиоценски чакъли, алевролити и пясъчници.

Въгленосните наслаги запълват една грабенова структура (Пернишки грабен), оградена на юг от Пернишкия разлом, а на север от Люлинския възсед. Централната част на басейна представлява широка синклинала с посока изток-запад, която изгражда поголяма част от продуктивната площ на басейна (Пернишка синклинала). В западната си част тя е дълбока и спокойна. На изток се издига и разделя на две: Голямобучинска и Калкаска синклинала. В басейна са установени тектонски нарушения. Преобладават разседите с пропаднала северозападна страна. Амплитуда им е от 2-15 до 100-150 m. Въглищата са блестящи кафяви.

Бобовдолски басейн. За подложка и оградни скали служат проторозойски гнайси, шисти и амфиболити, палеозойски диорити, диабази и гранити, триаски варовици, пясъчници и аргилити и юрски кварцити, мергели и варовици. Палеогенските пясъчници, въгленосни наслаги са поделени на пет задруги. Конгломератно-пясъчникова задруга. Изградена е от полигенни конгломерати с песъчлива до гравиина спойка, прослояват от полимиктови пъстроцветни които се пясъчници, като общата й дебелина достига до 250 m. Битумолитна задруга. Включва тънкослойни аргилити и мергели с прослойки от пясъчници. На места имат ивичест строеж, обусловен от наличието на органично вещество. Възрастта й е средноолигоценска. Дебелината на задругата варира от 0 до 50 m. Пъстра подвъглишна задруга. Дебелината й варира от 350 до 500 m. Възрастта й се определя на средно олигоценска. Седиментите, които я изграждат са пъстра алтернация от конгломерати, пясъчници, алевролити, Въгленосна задруга. Долната граница на задругата се маркира от появата на първите въглищни глини и черни глини. Дебелината й достига 100 m. Тя е представена от пясъчници, песъчливи глини, тънкослойни алевролити, аргилити и въглищни пластове. Установяват се 7-8 въглищни пласта с дебелина от 1,2 до 3,8 m, а на последните два до 10-12 m. Възрастта на задругата е определена като късноолигоценска. Задруга на тънкослойните аргилити и глинести мергели. Изградена е оттънкослойни аргилити, които в горните нива се прослояват от тънки песъчливи прослойки. Тези седименти са късноолигоценски по възраст, като горната им част вероятно е с долномиоценска възраст. Дебелината на задругата на места достига до 500-750 m. Палеогенските наслаги са покрити от неогенски конгломерати и глини и кватернерни слабоспоени конгломерати и пясъци.

Тектонският строеж на басейна е свързан с късноалпийските тектонски движения. Основна е ролята на ССЗ-ЮЮИ разломи от Струмската система. В резултат на късноалпийските и неотектонски движения се образува Бобовдолският грабен, който е запълнен с разгледаните по-горе палеогенски седименти. В резултат на неотектонските движения те са нагънати от синклинални и антиклинални гънки като Чеганската, Второполска, Бабинска, Софийската. Установени са разседи и възседи и множество свлачища. Въглищата са блестящи кафяви.

Пирински басейн. Подложка и оградни скали на басейна са докамбрийски амфиболити, гнайси, слюдени шисти и мрамори и кредни гранити с преход към левкогранодиорити, кварцмонцонити и адамелити от Северопиринския и Безбожкия плутон. Отделят се следните свити в палеогенските въгленосни наслаги: Логодашка свита. Изградена е от пясъчници и глинести пясъчници, сред които се вклинват дебели пластове от олигомиктови брекчи и брекчоконгломерати (с гнайсови и мигматитови късове). Дебелината на свитата достига и надхвърля 700-800 m. Възрастта й е определена като горноеоценска. Качовска свита – изградена от конгломерати, а в горната част от алевролити. Дебелината й е около 370 m. Възрастта на свитата е най-вероятно среден олигоцен. Горещишка свита. Лежи над Качовската свита и започва с песъчливи въглищни аргилити и Брежанския въглищен пласт. Установен е един основен въглищен пласт с дебелина от 0,5 до 34 m, като се откриват до 3 пласта-спътници с малка дебелина и ограничено площно разпространение. Върху въглищния пласт залягат битумолити с дебелина до 29 m. Над тях следват алевролити, аргилити, пясъчници. Общата дебелина е около 100 m. Покрива се съгласно от Ракитнишката свита. Възрастта на свитата се определя на среден-горен олигоцен. Ракитнишка свита. Изградена е главно от пясъчници, сред които се прослояват песъчливо-глинести конгломерати И алевролити. Дебелината е около 400 m. Възрастта се определя като среден-горен олигоцен. Лулевска свита. Изградена е от битумолити, пясъчници, алевролити, песъчливи аргилити и кафяви въглища. Възрастта й е късноеоценска, а дебелината 100-150 m. Въгленосните наслаги са покрити с неогенски и кватернерни наслаги.

Въгленосните седименти на Пиринския въглищен басейн запълват грабенова структура – Брежанския грабен. Той е ориентиран в ССЗ-ЮЮИ посока. Образуван е в резултат на блокови движения, които са твърде интензивни през средния олигоцен. В резултат на тези движения по дължината на Струмския разломен сноп пропада един блок и се образува Брежанския грабен.

Методика

Въглищните пластове в изследваните басейни са опробвани в по 12 забоя. Взети са общо 84 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. Тwo 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 λ = 546nm. маслена имерсия (nd=1.515). обектив 50х/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

Пернишки басейн

Класифициране на въглищата по Международната класификация на въглищата в пласта. Въглищата и от трите изследвани пласта според топлината на изгаряне (табл. 1, фиг. 1) могат да се определят като въглища от нисък ранг А (суббитуминозни) с преход към такива със среден ранг D (парабитуминозни). Средните стойности на показателя на отражение на хуминита за въглищата и от трите пласта са под 0,6% (табл. 2), така че те окончателно могат да бъдат определени като въглища от нисък ранг А – суббитуминозни.

Втората характеристика, която се определя – петрографският състав, също показва сходство за въглищата от трите пласта. Те са ивичести предимно хумусни, с високо съдържание на липоидни мацерали – 20,4% за пласт В, 19,1% за пласт D и 15,9% за въглищния комплекс (табл. 2).

Таблица 1

Резултати от химическия анал	из на въглищата
------------------------------	-----------------

Басейн,	W _t r,	Wa,	A ^{db} ,	St ^{db} ,	Qs ^{daf} ,	Qs ^{maf} ,
пласт	%	%	%	%	MJ/kg	MJ/kg
Перник						
В	14,1	4,19	13,05	2,39	28,48	24,45
D	15,5	7,29	15,08	1,35	28,94	24,46
Въглищен	15,3	4,98	21,07	2,12	28,63	24,30
комплекс						
Бобов дол						
IV	12,3	6,40	11,20	2,38	28,50	24,96
Двоен	13,9	5,4	25,44	2,55	28,55	24,57
Надежда	14,5	10,5	23,10	3,47	28,79	24,62
Пирин	13,8	9,15	14,77	2,14	28,63	24,69

 $W_t{}^r,~\%$ - обща влага; Wa, % - аналитична влага; Adb, % - пепелно съдържание на суха маса; Stdb, % - обща сяра на суха маса; Qsdaf, MJ/ kg – Топлина на изгаряне на сухо безпелно гориво; QsMAF, MJ/kg – топлина на изгаряне на влажно безпелно гориво.

Третата характеристика е качеството на въглищата. Въглищата от пласт В и Д са със средно качество, тъй като пепелното им съдържание е съответно 13,05 и 15,08%, а тези от въглищния комплекс са с ниско качество.

Като се обобощят резултатите пернишките въглища се определят като ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни със средно качество за пласт В и Д и ниско качество за въглищния комплекс.,

Тези резултати се илюстрирани от фиг. 1 за пласт В, която показва Международната класификация на въглищата в пласта и мястото на пласта в нея.





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

28 14 13 23

Този код означава, че средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 14,0 до 14,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 13,0 до 13,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 2,30 до 2,39%. Точните стойности на показателите са изложени в таблица 1.

За пласт D е определен код

28 15 15 13

Той показва, че средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 15,0 до 15,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 15,0 до 15,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 1,30 до 1,39%. Точните стойности на показателите за пласт D са показани в таблица 1.

Таблица 2

Резултати от петрограф	ьския анализ на въглищата
------------------------	---------------------------

Басейн,	Група	Група	Група	Отражение
пласт	хуминит,	липтинит,	инертинит,	на
	%	%	%	хуминита
				r _{o,} %
Перник				
В	79,2	20,4	0,4	0,40
D	80,4	19,1	0,5	0,45
Въглищен	83,2	15,9	0,9	0,41
комплекс				
Бобов				
дол				
IV	82,0	17,5	0,5	0,40
Двоен	78,0	21,4	0,6	0,38
Надежда	76,0	23,6	0,4	0,35
	87,0	12,6	0,4	0,46
Пирин				

За въглищния комплекс определеният код е: 28 15 21 21

Според този код средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 15,0 до 15,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 21,0 до 21,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 2,10 до 2,19%. Точните стойности на показателите са показани в таблица 1.

Пирински басейн

Класифициране на въглищата по Международната класификация на въглищата в пласта. Средната топлина на изгаряне на влажно безпепелно гориво е 24,69 МЈ/kg (табл. 1). Въглищата от Пиринския басейн според тази топлина на изгаряне могат да се определят като въглища от нисък ранг A (суббитуминозни) с преход към такива със среден ранг D (парабитуминозни). Средните стойности на показателя на отражение на хуминита за тези въглища е под 0,6% (табл. 2), но част от определенията в някои проби установяват отражение до 0,63%. Количеството на тези замери е минимално, така че пиринските въглища могат да бъдат определени като въглища от нисък ранг A – суббитуминозни.

Втората характеристика от класификацията е петрографският състав. Въз основа на съдържанието на трите групи мацерали (табл. 2) пиринските въглища се определят като ивичести предимно хумусни Съдържанието на липоидни мацерали е по-ниско от това в орановските и гоцеделчевските въглища

Третата характеристика е качеството на въглищата. Средното пепелно съдържание на пиринските въглища е 14,77% (табл. 1).

Тези характеристики определят въглищата от Пиринския басейн като ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни със средно качество.

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

28 13 14 21

Той показва, че средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 13,0 до 13,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 14,0 до 14,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 2,10 до 2,19%. Точните стойности на показателите за пласта са показани в таблица 1.

Бобовдолски басейн.

Класифициране на въглищата по Международната класификация на въглищата в пласта. Въглищата и от трите изследвани пласта според топлината на изгаряне (табл. 1) могат да се определят като въглища от нисък ранг А (суббитуминозни) с преход към такива със среден ранг D (парабитуминозни). Средните стойности на показателя на отражение на хуминита за въглищата и от трите пласта са под 0,6% (табл. 2), така че те окончателно могат да бъдат определени като въглища от нисък ранг А – суббитуминозни.

Втората характеристика, която се определя – петрографският състав, също показва сходство за въглищата от трите пласта. Те са ивичести предимно хумусни, с високо съдържание на липоидни мацерали – 17,46% за IV пласт, 21,4% за пласт Двоен и 23,6% за пласт Надежда табл. 2).

Третата характеристика е качеството на въглищата. Въглищата от IV пласт са със средно качество, тъй като пепелното им съдържание е 11,20% (табл. 1), а тези от пласт Двоен (25,54% пепелност) и Надежда (23,10% пепелност) са с ниско качество. Всички тези резултати определят въглищата от Бобовдолския басейн като ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни със средно качество за IV пласт и ниско качество за пластове Двоен и Надежда.

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

28 12 11 23

Този код означава, че средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 12,0 до 12,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 11,0 до 11,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 2,30 до 2,39%. Точните стойности на показателите са изложени в таблица 1.

За пласт Двоен е определен код

28 13 25 25

Той показва, че средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 MJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 13,0 до 13,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 25,0 до 25,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 2,50 до 2,59%. Точните стойности на показателите за пласт D са показани в таблица 1.

За пласт Надежда определеният код е:

28 14 23 34

Според този код средната топлина на изгаряне, определена на сухо безпепелно гориво е от 28,0 до 28,9 МJ/kg, средната обща влага на въглищата е от 14,0 до 14,9%, средното пепелно съдържание на сухо гориво – от 23,0 до 23,9% и средното съдържание на обща сяра на сухо гориво – от 3,40 до 3,49%. Точните стойности на показателите са показани в таблица 1.

Заключение

Въглищата от въглищните пластове в Пернишката 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 от Пернишкия басейн са ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни със средно качество за пластове В и D и с ниско качество за въглищния комплекс. Определени са кодовете на въглищата както следва: за пласт В – 28 14 13

23, за пласт D – 28 15 15 13 и за въглищния комплекс – 28 15 21 21.

Въглищата от Пирински басейн са ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни със средно качество. Определеният код е 28 13 14 21.

Въглищата от пласт IV на Бобовдолския басейн са ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни със средно качество. За пласта е определен код 28 12 11 23.

<u>Пласт Двоен</u>

Въглищата от пластове Двоен и Надежда са ивичести предимно хумусни от нисък ранг А – суббитуминозни с ниско качество. Определен е код за пласт Двоен 28 13 25 25 и за пласт Надежда – 28 14 23 34.

Литература

- Вацев, М. 1984. Литостратиграфия на палеогенските седименти от Брежанския грабен. – В: Проблеми на геологията на Югозападна България. С., Техника, 36-42.
- Връблянски, В. 1971. Пернишки грабен. В: *Тектонски* строеж на България. С., Техника, 367-368.
- Загорчев, Ив. 1993. Обяснителна записка към геоложката карта на България М 1:100000. Картен лист Босилеград и Радомир. С., 77 с.
- Загорчев, Ив., М. Русева. 1993. Обяснителна записка към геоложката карта на България. М 1:100000. Картен лист Перник, С., 92 с.
- Загорчев, Ив. и др. 1994. Обяснителна записка към геоложката карта на България М 1:100000. Картни листове Крива Паланкая и Кюстендил, С., 75 с.
- Кожухаров, Д., Р. Маринова 1994. Геоложка карта на България М 1:100000, Картен лист Гоце Делчев. Обяснителна записка. Геология и геофизика-АД, С., 58 с.
- Маринова, Р. 1993. Геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Благоевград. Обяснителна записка. Геология и геофизика-АД, С., 68 с.
- Маринова, Р., И. Загорчев. 1993. Геоложка карта на България. М 1:100000, Картен лист Разлог. Обяснителна записка. Геология и геофизика-АД, С., 62 с.
- Чернявска, С. 1970. Спорополенови зони в някои старотерциерни въгленосни седименти в България. – Изв. ГИ, Страт. и литол., 19, 79-100.
- ICCP. 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). Fuel, 80, 459-471.
- 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.

Препоръчана за публикуване от

Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

ГЕОЛОЖКИ СТРОЕЖ НА НАХОДИЩЕТО НА ЗЕОЛИТИ "МОСТ"

Петър Петров¹, Станислав Стойков¹, Милослав Кацаров²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; sstoykov@mgu.bg ²Министерство на икономиката и енергетиката, София 1000

РЕЗЮМЕ. В България има 6 находища на зеолити в СИ Родопи. Зеолитните находища принадлежат към първи олигоценски кисел вулканизъм ("Бели пласт", "Горна крепост", "Мост", "Голобрадово" и "Лясковец") и към втория кисел вулканизъм ("Белия баир"). Главните зеолитни минерали в тези находища са клиноптилолит и морденит ("Лясковец"). Находище "Мост" е изградено от зеолитни скали с главен минерал клиноптилолит. Скалите са с резидав до розов цвят и в пределите на находището са представени от клиноптилолит /80%/, монтморилонит /5%/, санидин /5%/ и малко количество кварц, кристобалит, селадонит и аналцим. Зеолитите са представени от три химични типа: натриев, калциев и калиев. Находището не се експлоатира.

GEOLOGY OF THE MOST ZEOLITES DEPOSIT

Peter Petrov¹, Stanislav Stoykov¹, Miloslav Katsarov² ¹University of Mining and Geology 'St. Ivan Rilski', Sofia 1700 ²Ministry of Economy and Energy, Sofia 1000

ABSTRACT. There are 6 deposits of zeolites in the North-Eastern Rhodopes of Bulgaria. They are related to the first Ologocene volcanism ("Beli Plast", "Gorna Krepost", "Most", "Golobradovo" and "Ljaskovetz") and to the second Oligocene acidic volcanism ("Belia Bair") in that region. The main zeoliote minerals are clinoptilolite and mordenite ("Ljaskovetz"). The deposit of Most is of the clinoptilolitic type. The rocks contain clinoptilolite (80%), montmorilonite (5%), sanidine (5%) and small quantities of quartz, crystobalite, celadonite and analcime. There are three chemical types of zeolites in the deposit: sodium, calcium and potassium. The deposit has not been yet exploited.

Въведение

Природните зеолити обикновенно имат една от трите кристални структури: верижни, слоести или изометрични. Те имат широк спектър на приложения: йонообмен, абсорбция и катализа. Въпреки това в продължение на 2500 г., а все още някъде и сега зеолитните туфи се използват като строителен материал. Зеолитните минерали са описани за първи път през 1756 г. от шведския геолог Барон Аксел Фредерик Кронстед. Изглежда парадоксалното, че са познати от 250 години, но те се употребяват като зеолитна суровина едва през последните 50 години.

Теоретично и възможността им на приложение е твърде широка – известни са 40 естествени и са създадени повече от 150 синтетични зеолита (Clifton, 1987; Flanigen, 1981). Въпреки, че са известни много типове естествени зеолити, само три се използват широко за промишлени цели – клиноптилолит, хабазит и морденит. Малко компании експлоатират и филипситови находища (Hanson, 1995).

От зеолитните минерали в България са разпространени минерални ресурси от клиноптилолити и морденити. Клиноптилолитните скали регионално са привързани към два олигоценски хоризонта с дебеленина на пласта

повече от 100 m. Морденитовите скали имат локално разпространение. Клиноптилолитните зеолити в България се експлоатират само в находище "Бели пласт". От тях се произвеждат три фракции: 5,0-2,5 mm; 2,5-0,8 mm и под 0,8 mm. Първата фракция се използва за: десулфатизация на газове. подобряване на почвата; повишаване на ефективността на торовете; Втората е за подобрител при филтрацията на вода; прибавка към фуражни смески за пилета; за премахване на неприятната миризма във фермите; както и подобряване на растежа на растенията и дърветата; Третата фракция е за пълнител в производството на сапуни; за прибавка в фуражни смески за прасета, крави и пилета.

В България има 6 находища на зеолити в Източни Родопи. Зеолитните находища принадлежат към първи олигоценски кисел вулканизъм ("Бели пласт", "Горна Крепост", "Мост", "Голобрадово" и "Лясковец") и към втория кисел вулканизъм ("Белия Баир"). Зеолитите от находища "Бели пласт", "Горна Крепост", "Мост", "Голобрадово" и "Белия Байр" са от клиноптилолитов тип а единствено "Лясковец" е само морденитово. Запасите от клиноптилолитни скали са 722000 млн. т., а морденитните са 114 млн. т. (Алексиев, Джурова, 1975; Petrov, 1994; Petrov, 1997).

Зеолитните находища са с големи запаси и благоприятни условия за експлоатация. Разнообразието на зеолитните

типове в находищата и близоста им е добра възможност за разширена употреба.

Местоположение

Находището се намира в землището на село Мост. Последното в административно отношение се числи към Кърджалийската селищна система и отстои на около 16 км северно от окръжния център на гр. Кърджали и на около 23 км южно от гр. Хасково. То е на 1 км западно от едноименната гара по железопътната линията Русе-Подкова. Източната окрайнина на селището се пресича с асфалтовото шосе Кърджали-Хасково, което е найкъсият път между двата града.

Геология на находището

Находището "Мост" е изградено (Боянов и др., 1995) от скалите на въгленосно-песъчливата задруга, задруга на първи средно кисел вулканизъм, и задруга на първи кисел вулканизъм. Последната е поделена на две пачки: 1 – кисели туфи, туфити, алевролити и рифови варовици; 2 – зеолитизирани кисели туфи.

Промишлен интерес представляват скалите на пачката от зеолитизирани кисели туфи. Тя е съствена от клиноптиолитни зеолити: бледозелени, бледозелени с бели петна и розови-червени с монтморилонит.

Бледозелените зеолити са изградени главно от стъклени отломки, по-малко от кристалокласти и наймалко от литокласти. Основна част от стъклените отломки са с призматична форма, дребнопсамитови до алевритови по размери. Стъклото е кисело и изотропно. Около стъклените отломки се наблюдават тънки кантчета от анизотропни глинести продукти от монтморилонитовата група. Същите са развити и по стените на мехурчетата от пемзовите отломки. Във вътрешните празнини за сметка на стъклото се е образувал клиноптиолит. Кристалчетата му най-често са ориентирани към вътрешностите на празнините. Кристалокластитите (плагиоклаз, калиев фелдшпат, биотит, амфибол, мусковит и др.) са дребни и микроскопични.

Розовочервените клиноптиолитови зеопити С монтморилонит съдържат късчета от вулканско стъкло, които в повечето случаи са променени. Клиноптиолитът е образуван за сметка на вулканското стъкло, като развит или в самите отломки, или в празнините между тях. Представен е от фини удължени призми или плочки. На места клиноптиолитът е криптокристалинен. На границата между отломките почти навсякъде се наблюдават шнуроподобни образования от анизотропни глинести минерали от групата монтморилонита, които са кремаво-жълтеникаво на оцветени. Кристалокластитите са представени ОТ плагиоклаз, калиев фелдшпат, пироксен, кварц, биотит и др., а литокластите от вулкански скали.

Полезното изкопаемо съдържа клиноптилолит /80%/, монтморилонит /5%/, санидин /5%/ и малко количество кварц, кристалобалит, селадонит и аналцим. Представено е от три химични типа: натриев, калциев, калиев. То има катионен обмен 0,8–1,28 мг екв. (Райнов и др., 1997). Суровината от находище "Мост" може да се използва за: 1 – минерални почви; 2 – молекулярни сита; 3 – годни за индустриални водни филтри. 4 – премахване на неприятната миризма във фермите; 5 – подобряване на почвените торове; 6 – пълнител в хартията и картона; 7 – обогатяване на газове и изсушаване на въздуха и газовете (Брънкин и др., 1982; Kirov, 1994; Petrov, 2000). Находището не е в експлоатация.



Фиг. 1. Схема на разположение на зеолитови находища "Бели пласт", "Белия баир", "Горна Крепост", "Мост", "Голобрадово" и "Лясковец"



Фиг. 2. Геоложка карта на находище на клиноптилолитни зеолити "Мост" (по Брънкин, Бояджиев и Конкин, 1982, непубл. данни; Боянов и др., 1995) с изменения и допълнения от авторите 1 – 6/2 Pg₃ Пачка кисели туфи, туфити, алевролити и рифови варовици; 2 – 6/1 Pg₃ Пачка зеолитизирани кисели туфи; 3 – 5/2 Pg₂³ Ритмична пачка от среднокисели туфи, туфити, пясъчници, алевролити, мергли и органогенни варовици; 4 – 3 Pg₂³ Въгленосно-песъчлива задруга; 5 – разлом

Интерпретация на получените резултати

Средния полезен интервал за находище "Мост" е 106 m. Средният йонообменен коефициент е 120 (мг екв.), а Средният сорбционен коефициент е 6,93 (%).



Фиг. 3. Корелационна диаграма между йонообменен капацитет и сорбционен коефициент на клиноптилолитни зеолити в находище "Мост"

Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

Заключение

Находище "Мост" е съставено от плътни, слоести клиноптилолитни скали с максимална дебелина 80 м. и запаси 260 000 хил. т. Скалите обикновено са с резидави, зеленикави, розови петна. Минералния състав и приложните свойства на суровината от находище "Мост" са предпоставка за възможна употреба за: 1 – минерални почви; 2 – молекулярни сита; 3 – индустриални водни филтри; 4 – премахване на неприятната миризма във фермите; 5 – подобряване на структурата на почвата и пълно усвояване на торовете. 6 – пълнител за хартия и картони; 7 – обогатяване на газове и изсушаване на въздуха и газовете. Находището не е експлоатирано до момента.

Литература

- Алексиев, Б., Е. Джурова. 1975. Зеолити в пирокластичните седименти от Източните родопи и използуването им като минерални суровини. МОСВ Геофонд, II-0876.
- Боянов, И. (ред), Д. Кожухаров, А. Горанов, Ж. Шиляфова, М. Русева. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100000. Лист Искра. С., ЕТ "Аверс", 77 с.
- Брънкин, К., Р. Бояджиев, Г. Конкин. 1982. Доклад за извършеното детайлно геоложко проучване на клиноптилолитовите зеолитити от нах. Мост, Кърджалийски окр., през 1979-82 г. с изчисление на запасите по състояние към 01.01.84 г. МОСВ Геофонд, II-1180.
- Clifton, R. A. 1987. Natural and synthetic zeolites. US Bur. Mines Inf. Circ. 9140, 21 p.
- Flanigen, E. M. 1981. Crystal structure and chemistry of natural zeolites. – In: *Mineralogy and Geology of Natural Zeolites*, *Revies in Mineralogy, vol. 4, Min. Soc. America*, 45-51.
- Hanson, A. 1995. "Natural zeolites. Many merits, meagre markets". Ind. Min., Dec., # 339, 40-53.
- Kirov, G. N. 1994. Bulgarian Contribution in the Study and Utilization of Natural Zeolites. – In: *Natural Zeolite and Utilization* (Ed. by # 111 Committee), JSRS, 63-77.
- Petrov, P. I. 1994. Industrial minerals of Bulgaria: Opportunities and markets. – 11th "Industrial Minerals" Int. Congress. Berlin, 31-37.
- Petrov, P. I. 1997. The industrial minerals of Bulgaria and opportunities of small-scale business. *Geol. and Min. Resources*, 1, 4-7.
- Petrov, P. I. 2000. Zeolite deposits and resources in Bulgaria. *Amman, 3rd Jordanian Intern. Min. Conf.*, 119-127.
- Raynov, N., N. Popov, Y. Yanev, P. Petrova, T. Popova, V. Hristova, R. Atanasova, R. Zankarska. 1997. Geological, mineralogical and technological characteristics of zeolitized (clinoptilolitized) tuff deposits in the Eastern Rhodopes, Bulgaria. – In: *Proceeding of Natural Zeolites – Sofia'95, Kirov, G., L. Filizova, and O. Petrov, Eds.*, Pensoft Publishers, 263-275.

Препоръчана за публикуване от

НАНОФОСИЛНА БИОСТРАТИГРАФИЯ НА ГОРНОКРЕДНИТЕ СЕДИМЕНТИ В ИЗТОЧНИЯ ПРЕДБАЛКАН МЕЖДУ РЕКИТЕ ДОДЕЛЕН И АРМЕРА, ЮЖНО ОТ СЕЛАТА ГРОЗДЬОВО И ГОРЕН ЧИФЛИК, ВАРНЕНСКО

Димитър Синьовски

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

РЕЗЮМЕ. В южната част на Източния Предбалкан Горнокредната серия се разкрива по поречието на реките Доделен и Армера в пределите на ловния развъдник "Шерба". Тук епиплатформеният тип Горна Креда е представен от 4 литостратиграфски единици – Венчанска свита (Сантон), глауконитноваровикова задруга (Горен Кампан), Мездренска свита (Долен Мастрихт) и Кайлъшка свита (Горен Мастрихт). На юг се установява латерален преход на тези единици към една алевролитово-карбонатна кампан-палеоценска последователност, считана за преходен тип Горна Креда (Аспаруховска и Доделенска свита). Тя се приема за латерален аналог на медитеранския тип Горна Креда (Беленска и Ветрилска свита). За пръв път в района се доказва присъствието на сантонски скали, чиято граница с мастрихтските и палеоценските единици е тектонска. Въз основа на варовит нанопланктон е доказана възрастта и стратиграфския обхват на останалите горнокредни единици. Скалите на глауконитно-варовиковата задруга са отнесени към къснокампанската зона Uniplanarius trifidus. В Аспаруховската свита са установени индикации на ранномастрихтската зона Arkhangelskiella cymbiformis и на късномастрихтските зони Lithraphidites quadratus и Micula murus. Въз основа на нанофосилните данни дебелината на кредната част на преходния тип седименти е оценена на 140 m.

NANNOFOSSIL BIOSTRATIGRAPHY OF THE UPPER CRETACEOUS SEDIMENTS IN THE EAST FORE-BALKAN BETWEEN DODELEN AND ARMERA RIVERS, SOUTH OF THE VILLAGES GROZGYOVO AND GOREN CHIFLIK, VARNA DISTRICT Dimitar Sinnyovsky

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

ABSTRACT. The Upper Cretaceous Series in the southern part of the East Fore-Balkan crops out along the rivers Dodelen and Armera in the frame of the "Sherba" preserve. In this area the epicontinental type Upper Cretaceous is represented by four lithostratigraphic units – Venchan Formation (Santonian), glauconite-limestone unit (Upper Campanian), Mezdra Formation (Lower Maastrichtian) and Kaylaka Formation (Upper Maastrichtian). Lateral transition of these units into a silty-carbonate Campanian-Paleocene sequence (transitional type Upper Cretaceous, Asparuhovo and Dodelen Formations) is observed to the south. It is considered to be a lateral analogue of the Mediterranean Upper Cretaceous (Byala and Vetrila Formations). For the first time is proved the presence of Santonian rocks. They contact with the Maastrichtian and Paleocene units by faults. The age and stratigraphic range of the other Upper Cretaceous units is proved by calcareous nanofossils. The rocks of the glauconite-limestone unit are referred to the Late Campanian zone Uniplanarius trifidus. In the Asparuhovo Formation are established indications of the Early Maastrichtian zone Arkhangelskiella cymbiformis and Late Maastrichtian zones Lithraphidites quadratus and Micula murus. The thickness of 140 m of the Cretaceous part of the transitional type sediments is estimated on the basis of nanofossil data.

Въведение

Районът между реките Доделен и Армера има доста интересен геоложки строеж, усложнен от множество гънки и разломи и изключително богата гама от седиментни скали, поделени на 22 литостратиграфски единици с възраст от Юра до Неоген. Обект на настоящото изследване са горнокредните скали, описани от автора при картировката на района в М 1:25000 (Джуранов и др., 1996)¹. Горнокредната серия в района на резервата Шерба изгражда долната част на една карбонатна кампан-палеоценска последователност, включваща характерните за епиконтинентаклния тип Горна Креда кремъчни варовици на Мездренската свита и органогенните варовици на Кайлъшката свита. Те са отнесени към "северноевропейския тип сенон" от Атанасов (19616). Палеоценската част е представена от литотамниевите варовици на Комаревската свита, над която се разкриват и част от пясъчниците на Белославската свита. Общата дебелина на тези скали, заедно с трансгресивния фациес в основата, отделен като глауконитно-варовикова задруга, не надвишава 60-70 m. На север тези скали граничат по разлом със сантонски варовици с кремък (Венчанска свита).

На юг от резервата Шерба тези скали се заместват от една монотонна серия от сиви, алевритови варовици с дебелина до 240 m. Те са латерален аналог на платформените отложения и представляват преходен фациес към медитеранския тип Горна Креда.

¹ Джуранов, С., М. Антонов, Г. Балтаков, В. Желев, Д. Синьовски, И. Чолеев, Д. Вангелов. 1996. Доклад за геоложко картиране в М 1:25 000 и геоморфоложко картиране в М 1:50000 на части от Камчийска Стара планина и северните склонове на Еминска Стара планина. София, Геофонд МОСВ.

Този преходен тип е широко развит на изток от изследваната площ и е установен в много от сондажите в Камчийското понижение. Кънчев (1995) отнася долната кампан-мастрихтска част на тази серия към Аспаруховската свита, а горната палеоценска част е обособена от Вангелов и Синьовски (2006) като Доделенска свита.

В настоящата работа се публикуват сведенията за възрастта на горнокредните литостратиграфски единици въз основа на резултатите от нанофосилните изследвания по данни от картировката на района.

Литостратиграфия

Между реките Доделен и Армера е развита една карбонатна последователност с кампан-палеоценска възраст, която е установена и в сондажите от Долнокамчийското понижение. В кредната й част са отделени 5 литостратиграфски единици: Венчанска свита, глауконитно-варовикова задруга, Мездренска свита, кайлъшка свита и Аспаруховска свита. Не всички скали на този карбонатен комплекс могат да се идентифицират с тези единици. По долината на р. Армера (фиг. 3) варовиците заемащи стратиграфския интервал Горен Кампан – Мастрихт не отговарят на дефинитивните белези на Мездренската и Кайлъшката свита, затова са отнесени към тях под въпрос.

Венчанска свита. Въведена е от Йолкичев (1988). Типовият разрез се намира по южния склон на местността Калето при с. Венчан, Варненско. Изградена е от пишеща креда и кредоподобни варовици с кремъчни конкреции.

В Мизийската плоча Венчанската свита лежи върху Добриндолската, Могиленската, или Мадарската свита, но на места покрива трансгресивно долнокредните отложения на Камчийската и Горнооряховската свита. Горната граница представлява бърз литоложки преход към пясъчниците на Шуменската свита. В Предбалкана седиментите й преминават латерално във варовиците на Мурненската свита. Дебелината й в Мизийската плоча е от порядъка на 15-20 m, но в типовата област достига 115 m. В изследваната площ свитата е установена в северната част на Бойкин дол. където включва 12 m меки кредоподобни варовици с кремък и в северната част на резервата "Шерба" по р. Доделен. Варовиците съдържат сантонска нанофлора. Разкритието е уникално, а присъствието им тук е твърде необичайно. Очевидно те граничат с по-младите горнокредни единици по разломи.

Глауконитно-варовикова задруга. Тази единица е въведена от автора при картировката на част от Източния Предбалкан (Джуранов и др., 1996). Тя обхваща основата на горнокредните отложения в района на резервата Шерба по реките Доделен и Армера. Обособена е като отделна литостратиграфска единица въз основа на повишеното съдържание на глауконит и теригенни примеси в сравнение с другите карбонатни единици, изграждащи горнокредно-палеоценския разрез. В досегашните работи върху геологията на района тези скали са описвани като основа на Мастрихтския етаж: "4-5 m светли варовици, зърнести и песъчливи, с множество глауконит" (Атанасов, 19616), "основа на мастрихтския етаж" (Йолкичев, 1989), "пясъчниково-варовикова задруга" и



Фиг. 1. Разрез на горнокредните скали в местността Алматепеси, ЮЗ от кота Голямата ябълка в ловния развъдник Шерба

"Добринска свита" (Кънчев, 1995). Изградена е от глауконитни варовици с високо съдържание на теригенни компоненти – алеврит и псамит. Те са сиви, неяснослоести до масивни. Долната граница е трансгресивна, поради което в основата има дребнокъсов базален конгломерат изграден от варовикови късове и дребни фосфоритови конкреции с размери 2-3 до 5-6 mm. Дебелината на слоя е от 5-10 cm по р. Доделен до 30-40 cm по р. Армера. Спойката е обилна. песъчливо-карбонатна. с много глауконит. Лежи с ъглов дискорданс върху долнокредни мергели, пясъчници и варовици от Камчийската и Тичанската свита. Нагоре количеството на теригения материал намалява. Покрива се от варовиците на Мездренската, Кайлъшката или Аспаруховската свита, с които единицата има и латерални преходи. Дебелината е от 0 до 10 m. Поради трансгресивния си характер тя се изменя бързо на малки разстояния. Например в справочния разрез за картен лист Бърдарево по р. Доделен дебелината й е 10 m, а в съседния Шербенски дол е само 2 m.

В базалния конгломерат и малко над него се срещат различно запазени вкаменелости от бивалвии, гастроподи, брахиоподи и ехиниди. От тези скали Атанасов (1961б) определя *Gyropleura inaequirostrata* Woodw. и *Kossmaticeras galicianus* Favre. Пробите от глауконитните варовици съдържат богати нанофосилни асоциации, включващи горнокампанските видове Uniplanarius gothicus (Deflandre), Uniplanarius trifidus (Stradner) и изчезващия в края на Кампанския век Eiffellithus eximius (Stover), които индикират къснокампанска възраст. В разрезите с по-голяма дебелина на задругата горната й част не съдържа тези нанофосили и се отнася към Долния Мастрихт.



Фиг. 2. Разрез на горнокредните скали по долината на р. Армера, южно от горски стопански двор "Армера" на 5 km ЮЗ от с. Горен Чифлик

Мездренска свита. Въведена е от Йолкичев (1986), но след това името е обявено от автора за невалидно (Йолкичев, 1993), като по-млад синоним на "Мездренски пясъчници" (Бончев и Каменов, 1934). Предвид придобитата популярност чрез картите на България в М 1:500000 и 1:100000 то е използвано от автора при картировката на района в М 1:25000 (Джуранов и др., 1996). Тези скали нямат пространствени взаимоотношения с палеоценските варовици описани като "Мездренска свита" при "Чудните скали" от Йолкичев (1989) и Кънчев (1995) (виж Вангелов, Синьовски, 2000).

В картирания район свитата е представена от микритни варовици с кремъчни и варовито-кремъчни конкреции. Те са сиви, светлосиви до бежови на цвят, тънко до среднопластови и масивни, здрави и плътни. Конкрециите са черни до кафяви с размери до 5-6 ст. Съдържанието им е доста неравномерно, а на места е представена просто от ядчеси варовици без кремък. В тези варовици Атанасов (19616) определя Syncyclonema jugleri v. Hagen, Exogyra decussata Coq., Exogyra cf. auricularis Coq., Pycnodonta vesicularis Lamarck.

Долната граница е постепенен преход от глауконитните варовици на глауконитно-варовиковата задруга, а горната – постепенен преход към органогенните варовици на Кайлъшката свита, с които има и латерални преходи. Дебелината й не надхвърля 20 m.

Кайлъшка свита. Въведена е от Йолкичев (1986), но след това името е обявено от автора за невалидно (Йолкичев, 1993), като по-млад синоним на Кайлъшка задруга (Дачев, 1967). Подобно на Мездренската свита, името на Кайлъшката свита в смисъла на Йолкичев (1986) е придобило популярност чрез картите на България в М 1:500000 и 1:100000, поради което е запазено от автора на настоящата статия при картировката на района в М 1:25000 (Джуранов и др., 1996)¹.

Свитата е изградена от типичните за нея бели до кремави, здрави, дебелопластови до масивни, едрозърнести органогенни и песъчливи варовици. Горната граница е размивна и се покрива от палеоценските литотамниеви варовици на Комаревската свита. Възрастта й е мастрихтска.

Дебелината се изменя от 4-5 до 15-20 m, а в справочния разрез в местността Алматепеси е 40 m. В изследваните разрези при Алматепеси, Шербенски дол, Бойкин дол и р. Армера не се забелязва несъгласие между Кайлъшката и Комаревската свита. Вероятно границата между Мастрихта и Палеоцена, която не е установена в изследвания район поради липсата на нанофосили и неравномерното съдържание на дискоциклини, попада в горните нива на Кайлъшката свита.

По долината на р. Армера (фиг. 2) и Бойкин дол (фиг. 3) горнокредните скали трудно могат да се идентифицират с известните литостратиграфски единици, с изключение на глауконитно-варовиковата задруга. По-голямата част от варовиците отнесени към Мездрен ска? и Кайлъшка? свита са латерален аналог на тези единици, установени в позападните разкрития в Шерба, без да отговарят на дефинитивните им белези. Затова установените тук възрасти не бива да се приемат като ревизия на възрастта на единиците по принцип. Характерна особеност на описаните в тази статия разкрития е непрекъснатият разрез между органогенните варовици на Кайлъшката свита и литотамниевите варовици на Комаревската свита.

Аспаруховска свита. Въведена е от Йолкичев (1989) и е наименувана на с. Аспарухово, Варненско. Типовият разрез се намира на запад от изследвания район по р. Разкраченица, южно от яз. Цонево. Изградена е от сиви до светлосиви, среднопластови до масивни алевритови варовици на определени нива с кремъчни конкреции. Йолкичев (1989) я счита за сантон-ранномастрихтска, но по нанофосилни данни в деретата южно от яз. Цонево между Чудните скали и Козя река тя е датирана като късномастрихтска (Вангелов, Синьовски, 2000), а по Доделен и Армера обхваща целия Мастрихтски етаж. Между "Чудните скали" и Козя река долната граница е трансгресивна и покрива долнокампанската варовикова задруга на Йолкичев (1989), ценоманската задруга на глинестите алевролити (Вангелов, Синьовски, 2000) или направо Камчийската свита. Покрива се от палеоценски варовици с кремък с рязка литоложка граница, която в разрезите при "Чудните скали", Разкраченица и Козя река съвпада с границата Креда-Терциер, установена по нанофлора. По Козя река границата е доказана и по геохимичен път чрез съдържание на 5 ppb Ir в тъмния граничен слой с дебелина 4 cm между Аспаруховската свита и кремъчните варовици над нея (Sinnyovsky, 2001). По р. Разкраченица дебелината на Аспаруховската свита е 100 m, при "Чудните скали" – 20 m, а по Козя река – 10 m.



Фиг. 3. Разрез на горнокредно-палеоценските скали в кариерата по Бойкин дол, на 5 km южно от с. Гроздьово: 1 – варовици с дискоциклини; 2 – брахиоподен пласт; 3 – варовици с дискоциклини; 4 – литотамниеви варовици; 5 – варовици с дискоциклини; BD 1 – местоположение на проба за нанофосили

Аспаруховската и Доделенската свита (Вангелов, Синьовски, 2006) представляват преходен фациес към медитеранския тип Сенон-Палеоцен. Още Златарски (1907) споменава, че на юг ОТ Доделен "средноевропейския тип на горния Сенон почти незабелязано преминава в южноевропейски или медитерански тип". Атанасов (1961б) отнася варовиците в сондажите от Камчийското понижение към т. нар. "преходен фациес между двата типа сенон", но не споменава за разкритията им по горното течение на реките Доделен и Армера. При картировката на района в М 1:25 000 (Джуранов и др. 1996) авторът отнесе тези скали към преходния тип и ги обедини във "варовикова задруга" с кампан-палеоценска възраст. Кънчев (1993,1995) причисли долната част към Аспаруховската свита, а горната - към "варовито-алевритова задруга", наречена по-късно Доделенска свита (Вангелов, Синьовски, 2006).

В района на Доделен и Армера Аспаруховската свита обхваща най-горната част на Горния Кампан и целия Мастрихт. Тя покрива с постепенен преход глауконитноваровиковата задруга или лежи трансгресивно върху Камчийската или Тичанската свита. Представлява латерален аналог на типичните за епиплатформения тип Горна Креда кремъчни варовици на Мездренската свита и органогенните варовици на Кайлъшката свита. Покрива се от алевритовите варовици и алевролитите на Доделенската свита, която от своя страна е латерален аналог на кремъчните варовици, изграждащи "Чудните скали". В изследвания район между реките Доделен и Армера Аспаруховската свита е с дебелина до 140 m. В нея границата между Долния и Горния Мастрихт не е прекарана точно поради бедното съдържание на нанофлора. Горните 50 m се характеризират с присъствието на късномастрихтските нанофосилни видове Nephrolithus frequens Gorka, Lithraphidites quadratus Bramlette & Martini v Micula murus (Martini).

Биостратиграфски резултати

Глауконитно-пясъчниковата задруга съдържа информативна нанофлора, която позволява скалите й да бъдат отнесени към нанофосилна зона Uniplanarius trifidus с възраст Късен Кампан. Тя е установена в различни разрези по долините на Доделен, Бойкин дол и Армера, и по височините западно от Шерба (фиг. 1-3).

В разреза на кариерата в Бойкин дол (фиг. 3) долната граница на задругата не се разкрива. Тук дебелината й е най-голяма, тъй като само разкритата част е 10 m. Найдолната проба е изключително богата и се състои от над 20 нанофосилни вида: Eifellithus eximius (Stover) Perch-Nielsen, Eiffellithus turriseiffelii (Deflandre in Deflandre Fert) Reinhardt, Reinhardtites levis Prins & & Sissingh, Broinsonia parca (Stradner) Bukry ssp. constrica Hattner et al., Uniplanarius gothicus (Deflandre) Hattner & Wise, Uniplanarius trifidus (Stradner) Hattner & Wise. Micula staurophora (Gardet) Stradner, Ahmuelerella octoradiata Gorka, Arkhangelskiella cymbiformis Vekshina. Kamptnerius magnificus Deflandre, Calcultes obscurus (Deflandre) & Prins Sissingh, Lucianorhabdus arcuatus Forchheimer. Lucianorhabdus caveuxii Deflandre. Lucianorhabdus maleformis Reinhardt, Cribrosphaerella ehrenbergii (Arkhangelsky) Deflandre, Prediscosphaera cretacea (Arkhangelsky) Gartner, Prediscosphaera grandis Perch-Nielsen, Prediscosphaera microrhabdulina Perch-Nielsen. Microrhabdulus decoratus Deflandre. Orastrum campanensis (Čepek) Wind & Wise. (Noel) Zeugrhabdotus embergeri Perch-Nielsen, Zeugrhabdotus spiralis (Bramlette & Martini) Burnett, Placozygus fibuliformis (Reinhardt) Hoffman идр.

Присъствието на Uniplanarius gothicus (Deflandre) Hattner & Wise и Uniplanarius trifidus (Stradner) Hattner & Wise е указание за къснокампанска възраст на изследваните седименти, а вторият е индексов вид за таксон-акрозона Uniplanarius trifidus, която обхваща горната част на Горния Кампански подетаж. В асоциацията присъства и *Eifellithus eximius* (Stover) Perch-Nielsen, който изчезва в края на Кампанския век заедно с индексовия вид на зоната. По тяхното изчезване се поставя успешно границата Кампан-Мастрихт съгласно новата й дефиниция по Burnett et al. (1992).

В разреза по Бойкин дол зоналният вид е установен само в най-долните две проби, което позволява между пробите BD-2 и BD-3 да се прекара границата Кампан-Мастрихт (фиг. 3). В следващите проби съдържанието на нанофлора постепенно намалява до пълна стерилност в най-долната проба BD-6 от Кайлъшката свита. В пробите BD-3 и BD-4 присъства нанофосилният подвид *Broinsonia parca* (Stradner) Bukry ssp. *constrica* Hattner et al., който изчезва в основата на Мастрихтския етаж. Много автори съобщават за изчезването му преди зоналния вид *Uniplanarius trifidus* (Stradner) Hattner & Wise в найгорната част на Кампанския етаж, но на територията на България това събитие е установено повсеместно след изчезването на зоналния вид, над границата Кампан-Мастрихт (Sinnyovsky, 2004а,6).

Зоналният репер Uniplanarius trifidus (Stradner) Hattner & Wise е установен в основата на глауконитноваровиковата задруга по р. Доделен и нейните притоци, както и в местността Алматепеси, в западната част на резервата Шерба (фиг. 1). В тези разрези нанофосилната асоциация е по-бедна, но присъствието му показва, че основата на задругата навсякъде в изследваната площ е свързана с Горния Кампан.

Мездренската свита е бедна на нанофлора, но в помеките прослойки се среща сравнително добре запазена нанофлора, която позволява еднозначно датиране на скалите. В основата на свитата по р. Доделен в северния край на резервата бе определена доста богата нанофосилна асоциация, която съдържа индексовия вид на горнокампанската таксон-акрозона Uniplanarius trifidus -*Uniplanarius trifidus* (Stradner) Hattner & Wise. В асоциацията присъстват още и *Uniplanarius gothicus* (Deflandre) Hattner & Wise и *Eifellithus eximius* (Stover) Perch-Nielsen, които изчезват в края на Кампанския век. Същата асоциация присъства и в ядчестите варовици над глауконитно-варовиковата задруга в разреза по р. Армера, които са латерален аналог на Мездренската свита.

Кайлъшката свита не е благоприятна за запазване на нанофосили и в органогенните варовици такива не бяха намерени. В резервата Шерба бе намерен един отлично запазен екземпляр от горномастрихтския ехинид Hemipneustes striatoradiatus (Leske) ssp. elevatus Smiser, определен от Илиева (2000). В долните нива на сивите варовици, корелирани с Кайлъшката свита в разреза по р. Армера, бе установена нанофлора с горнокампански облик Uniplanarius _ gothicus (Deflandre) Hattner & Wise и Eifellithus eximius (Stover) Perch-Nielsen.

Аспаруховската свита лежи върху глауконитните варовици на глауконитно-варовиковата задруга или

направо върху Камчийската и Тичанската свита. В местността "Ики Доделен", където се събират двата притока на р. Доделен, тази граница се разкрива по шкарпа на горския път. Тук основата на свитата съдържа характерните за Горния Кампан нанофосилни видове Uniplanarius trifidus (Stradner) Hattner & Wise, Uniplanarius gothicus (Deflandre) Hattner & Wise и Eifellithus eximius (Stover) Perch-Nielsen, заедно с богата асоциация от други сенонски форми: Arkhangelskiella cymbiformis Vekshina, Broinsonia parca (Stradner) Bukry ssp. constrica Hattner et al., Reinhardtites levis Prins & Sissingh, Prediscosphaera grandis Perch-Nielsen, Prediscosphaera microrhabdulina Perch-Nielsen, Orastrum campanensis (Čepek) Wind & Wise, Zeugrhabdotus spiralis (Bramlette & Martini) Burnett, Placozygus fibuliformis (Reinhardt) Hoffman. Lucianorhabdus cayeuxii Deflandre, Lucianorhabdus arcuatus Forchheimer, Calcultes obscurus (Deflandre) Prins & Sissingh.

В следващите няколко метра първите три вида изчезват, поради което скалите от 7-8 до 55 m се отнасят към Долния Мастрихт. За съжаление варовиците на тази свита съдържат много бедни асоциации, което прави невъзможна зоналната подялба. В горните 20 m от свитата са установени горномастрихтските видове Nephrolithus frequens Gorka, Micula murus Martini и Lithraphidites quadratus Bramlette & Martini. В тази част на разреза не присъстват голяма част от описаните в основата видове, които изчезват на различни нива на Долния Мастрихт -Broinsonia parca (Stradner) Bukry ssp. constrica Hattner et al., Reinhardtites levis Prins & Sissingh, Lucianorhabdus arcuatus Forchheimer, Lucianorhabdus cayeuxii Deflandre.

Заключение

Резултатите от настоящото нанофосилно изследване показват, че двата основни карбонатни фациеса на Горната Креда в района на ловния развъдник Шерба между реките Доделен и Армера – епиплатформеният (Мездренска и Кайлъшка свита) и преходният (Аспаруховска свита) са едновъзрастни и принадлежат на стратиграфския интервал Горен Кампан – Мастрихт. Те се подстилат от трансгресивните отложения на глауконитно-варовиковата задруга, с която започва седиментацията в района през Кампан. В източните части на плошта Късния горнокредните варовици не отговарят на дефинитивните белези на познатите литостратиграфски единици, поради което са отнесени към тях условно. Част от ядчестите варовици с кремък, отнесени към Мездренската свита принадлежат на къснокампанската нанофосилна зона Uniplanarius trifidus. Латералният аналог на тези варовици, както и на органогенните варовици на Кайлъшката свита по долината на р. Армера също принадлежат на тази зона. Литоложката граница между Кайлъшката и Комаревската свита представлява постепенен преход. Тя вероятно съвпада и с хроностратиграфската граница между Мастрихта и Палеоцена, която се маркира от появата на дискоциклини. В разрезите, където липсват дискоциклини тя се прекарва условно по долнището на литотамниевите варовици на Комаревската свита, които се редуват с тях.

Литература

- Атанасов, А. 1961а. Сенонът в приморската част на Северна България. – *Сп. Бълг. геол. д-во, 22,* 2, 175-186.
- Атанасов, А. 19616. Геология на приморския дял от Предбалкана и Камчийската долина. – *Тр. Геол. България, сер. Страт. и тект.,* 2, 99-157.
- Вангелов, Д., Д. Синьовски. 2000. Нови данни за стратиграфията на горнокредно-палеогенските скали и развитието на седиментационните обстановки в част от Източния Предбалкан. – Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 93, кн. 1, Геол., 39-64.
- Вангелов, Д., Д. Синьовски. 2006. Стратиграфия на горнокредно-палеогенските седименти в част от Източния Предбалкан между долините на реките Луда камчия и Армера. – Год. СУ, Геол.-геогр. фак., 98, Кн. 1, Геол. (под печат).
- Илиева, Т. К. 2000. Къснокредни и дански ехиниди от надразред *Spatangacea* от Северна България – таксономия и стратиграфско значение. С., Автореферат, 34 с.
- Йолкичев, Н. 1988. Литостратиграфски единици свързани с горнокредната серия в източните части на

Препоръчана за публикуване от Катедра "Геология и палеонтология", ГПФ Мизийската платформа. – Сп. Бълг. геол. д-во, 49, 1, 11-25.

- Йолкичев, Н. 1989. Стратиграфия на епиконтиненталния тип горна креда в България. С., Изд. СУ "Кл. Охридски"; 184 с.
- Кънчев, И. 1995. Горнокредна серия. В: Кънчев, И. (Ред.) Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000, картен лист Долни Чифлик. С., Изд. ЕТ "Аверс", 15-38.
- Кънчев, И., Я. Герчева. 1992. Геоложка карта на България М 1:100000, картен лист Долни Чифлик. С., КГМР, Геология и геофизика АД.
- Sinnyovsky, D. 2001. Periodites from the Cretaceous-Tertiary boundary interval in several sections from East Bulgaria. – C. R. Acad. bulg. Sci., 54, 4, 65-73.
- Sinnyovsky, D. 2004a. Nannofossil subdivision and stratigraphic range of the Emine Flysch Formation in East Balkan, East Bulgaria. – Ann. Univ. of Mining and Geology, 47, Part 1, Geol. Geophys, 131-137.
- Sinnyovsky, D. 20046. Calcareous nannoplankton biostratigraphy of the Carpathian type Upper Cretaceous-Paleocene deposits near Kladorub Village, Vidin District. – Ann. Univ. of Mining and Geology, 47, Part 1, Geol. Geophys., 139-145.

НОВИ ДАННИ ЗА СТРАТИГРАФСКИЯ ОБХВАТ НА БЕЛЕНСКАТА СВИТА ПРИ ГР. БЯЛА, ВАРНЕНСКО

Димитър Синьовски

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София1700; sinsky@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Беленската свита е развита в един доста ограничен район на границата между Източния Предбалкан и Източнобалканската структурна зона. Тя се разкрива главно по Черноморското крайбрежие около гр. Бяла и е изградена от варовици и мергели. Досега тя е била обект на многобройни изследвания главно заради границата Креда-Терциер и климатичните цикли на Миланкович. Поради сложния тектонски строеж на района единицата няма цялостна зонална подялба, но стратиграфският й обхват е определен на Горен Кампан – Горен Палеоцен по варовит нанопланктон и фораминифери. В настоящата статия се прилагат нанофосилни доказателства за по-широк стратиграфски диапазон на Беленската свита. В един сравнително цялостен разрез на кампанската част на единицата при Белия нос с обща дебелина 144 m се разкриват най-старите нива на свитата, за част които се доказва раннокампанска възраст. Детайлната нанофосилна биостратиграфски подялба показва присъствието на двете раннокампански нанофосилни зони Broinsonia parca constricta и Ceratolithoides aculeus с дебелина общо 32 m. Долната граница на Долния Кампан не се разкрива, а горната е тектонски. Вследствие на тектонските нарушения липсва долната зона на Горния Кампан – Uniplanarius gothicus, а останалата част от разреза с дебелина над 70 m принадлежи на горната горнокампанска зона Uniplanarius trifidus. Новите нанофосилни данни променят представите и за дебелина на свитата, която вероятно надхвърля значително считаните досега 200-250 m.

NEW DATA ABOUT THE STRATIGRAPHIC RANGE OF THE BYALA FORMATION NEAR BYALA TOWN, VARNA DISTRICT Dimitar Sinnyovsky

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

ABSTRACT. The Byala Formation is developed in a very restricted area near the boundary between the East Fore-Balkan and the East Balkan Zone. It crops out mainly along the Black Sea coast near Byala Town and is composed of limestones and marls. So far this unit has been subject of numerous investigations connected with the Cretaceous-Tertiary boundary and the climatic Milankovitch cycles. There is no complete zonal subdivision of the unit because of the complicated geological structure of the area, but its stratigraphic range is defined as Upper Campanian – Upper Paleocene on the basis of calcareous nannoplankton and foraminifera. The present investigation provides nannofossil evidence for wider stratigraphic range of the Byala Formation. In a comparatively complete section of the Campanian part of the unit at the White Cape with total thickness 144 m crop out the oldest levels of this formation with proved Early Campanian age. The detailed biostratigraphic nannofossil subdivision reveals the presence of the two Early Campanian nannofossil zones Broinsonia parca constricta and Ceratolithoides aculeus with total thickness 32 m. The lower boundary of the Lower Campanian is not exposed and the upper one is tectonic. Due to tectonic reasons the lower Upper Campanian nannofossil zone Uniplanarius gothicus is missing. The seat of the section with thickness more than 70 m belongs to the upper Upper Campanian nannofossil zone Uniplanarius frifidus. The new nannofossil data change also the concept about the thickness of the unit which is probably rather more than the considered so far thickness of 200-250 m.

Въведение

Изследваният район се намира на брега на Черно море северно от плажа на гр. Бяла в рамките на защитения геотоп "Белите скали". Той е на границата между Източния Предбалкан и Източнобалканската структурна зона и е с изключително сложен геоложки строеж. В обхвата на защитената площ "Белите скали" има много разломи от възседен, разседен и навлачен тип (фиг. 1, по Джуранов и др., 1994¹), като в дадения мащаб е представена една незначителна част от тях. В района се разкриват скалите на Беленската свита, които са отнесени към медитеранския тип Горна Креда още от Златарски (1907). Горномастрихтската и данската част на свитата са подробно изучени във връзка с установяването на границата Креда-Терциер при гр. Бяла. Въпреки това стратиграфският обхват, считан за Горен Кампан – Горен Палеоцен, засега не е фиксиран точно по нито една организмова група.

Предишни изследвания

Скалите са описани под името "Беленски глинести мергели" от Г. Бончев (1926), а рангът на свитата е посочен от Джуранов (1991). Първото описание на тези скали дава Златарски (1907), който ги нарича "белизняви варовити мергели". Бончев (1926) използва географския топоним "Беленски" за описаните от него "сенонски глинести мергели" в района на Бяла, които се споменават и в работите на Гочев (1932), Коен (1938) и Ботев (1953), които ги отнасят към северноевропейския тип. Скалите са

¹ Джуранов, С. и др. 1994. Доклад за резултатите от изпълнението на геоложка задача: "Геоложко и геоморфоложко картитране в М 1:25000 на част от Източния Балкан между нос Емине и с. Старо Оряхово с площ 330 кв. км. С., Геофонд МОСВ.

характеризирани като южен тип с фораминифери от Трифонова (1960а) и отнесени към "средиземноморски тип сенон" от Атанасов (1961а,б), който прави аналогия между скалите при с. Голица и тези при Бяла. Подобна аналогия прави и Кънчев (1966), който включва част от разкритията на свитата западно от с. Бърдарево към отделената от него "варовита свита (мастрихт)". Джуранов (1984, 1989) разглежда единицата като "варовиково-мергелна задруга".



Фиг. 1. Геоложка карта на района на гр. Бяла в М 1:25000 (по Джуранов и др., 1994), на която е изобразено разпространението на Беленската свита с опростен вариант на тектонските нарушения, подходящ за използвания мащаб: 1 – Двойнишка свита (Среден Еоцен) пясъчници, конгломерати, аргилити, глини; 2 – Беленска свита (Палеоцен): варовици и мергели; 3 – Беленска свита (Кампан-Мастрихт): варовици и мергели; 4 – възсед; 5 – граница Креда-Палеоген; 6 – знак за ориентировка на пластовете; 7 – шосе

Беленската свита е изградена от ритмични варовиковомергелни алтернации, които се редуват с по-монотонни мергелни интервали. На свежа повърхност скалите са сиви до светлосиви, а на изветряла – почти бели. Ритмичните интервали са изградени от варовиково-мергелни куплети, всеки от които е представен от варовиков пласт и мергелно междупластие. Най-типични са периодитите в данската част на разреза (Sinnyovsky, 2001), както и в изследваната тук долнокампанска част от свитата.



Фиг. 2. На Белия нос се разкриват най-старите установени досега скали на Беленската свита – циклични варовици принадлежащи на долнокампанската нанофосилна зона Broinsonia parca

Preisinger (1994) свързва ритмите с циклите на Миланкович, a Sinnyovsky (2001) определя скалите като "периодити", образувани вследствие на високочестотни климатични цикли на Миланкович (фиг. 2,3). Вариациите на двата главни компонента на изходната утайка - "глина" (теригенни частици с алевропелитов размер) и финозърнест карбонат (коколитови и фораминиферни фрагменти) образува повтаряща се последователност от здрави варовикови пластове и неустойчиви на изветряне "мергелни" междупластия. Въз основа на серия от лабораторни анализи на горномастрихтската и данската част на разреза доказахме, че съдържанието на СаСОз в мергелните междупластия на куплетите често е над 50 %, което ги характеризира като варовици (Sinnyovsky, 2001). Във варовиковите пластове количеството на карбоната достига до 83 %, но обикновено варира между 60 и 72 %. Постепенните граници между пластовете и междупластията потвърждават климатичния генезис на слоестостта и показват, че в тази ритмична последователност липсват турбидити. Друг забележителен резултат от седиментоложките анализи е липсата на строго фиксиран праг на критичното карбонатно съдържание ("изветрителна граница"), от който зависи полевото изражение на скалата - меко междупластие ("мергел" по полевата класификация) при по-ниско съдържание на CaCO₃ или здрав варовиков пласт при повисоко съдържание на CaCO₃. Сравнявайки биостратиграфските и магнитостратиграфските зони с абсолютната времева скала може да се изчисли, че интервал от 28,5 m от разреза съответства приблизително на 1 милион години (Sinnyovsky, 2001).

В разкритията при гр. Бяла е локализирана границата Креда/Терциер, доказана с варовити нанофосили от

Stoykova, Ivanov (1992) и по геохимичен път от Preisinger et al. (1993а,б). Разкритията по крайбрежната част на свитата северно от плажа на гр. Бяла са обявени за природна забележителност под името "Белите скали" (Синьовски, 2003). Те са богати на фосилна флора и фауна. На различни нива са намирани амонити, иноцерамуси, ехиниди, фораминифери, варовити нанофосили. Данни за фосилни находки се срещат в работите на Златарски (1907), Гочев (1932), Pollak (1933), Коен (1938), Ботев (1965), Јигапоv (1983), Джуранов (1984, 1989), Синёвски (1990), Stoykova, Ivanov (1992, 2002, 2004), Ivanov (1993), Rögl et al., 1994; Ivanov, Stoykova (1994; 1995), Preisinger et al. (1993а,б), Стойкова и др. (2000), Sinnyovsky (2001), Adatte et al. (2002).

До 1960 г. скалите на свитата са считани за горносенонски въз основа на намерените амонити, ехиниди и миди. Трифонова (1960а,б) най-напред доказва с фораминифери мастрихт-палеоценска възраст на скалите. Juranov (1983) и Джуранов (1984) потвърждава тази възраст като поделя Палеоцена на Долен, Среден и Горен по планктонни фораминифери. След това стратиграфският обхват е определен на Горен Кампан – Горен Палеоцен (Синёвски, 1990).



Фиг. 3. Долнокампанските нива на Беленската свита са представени от периодити с отлично оформени куплети от по-здрави и пластове и понеустойчиви междупластия

Поради сложния тектонски строеж в околностите на Бяла границите на свитата са тектонски. Дебелината й не може да се установи точно, но досега се предполагаше, че на надвишава 150 m.

								•																							2	ı				۲-
																													Γ	T				Ш		
																																			Ц	Н
																																		H		-
		-	1	1	1									<u> </u>														I				, 				
subiliri suiranalgoinU	l∝	Ľ	ĸ	R	æ	æ	ц	æ	R	R	R	R	œ	R	œ	ď	œ	¢	R	æ	ц	R	ц	R	œ	æ		ļ			.					
susittos suirpaplaoinU	R	Ľ	œ	R	R	R	æ	æ	œ	ι α	œ	æ	æ	œ	ድ	æ	œ	œ	œ	æ	£	£	œ	£	æ	£		ļ								
Prediscosp. microrhabdulina	R	Ľ	£	R	R	R	R							L														-	_	_	—					
Eiffellithus eximius	ļ		-	·											0	0	0					R	ď	ш	ш	ш.	ш	0	0	0	ш.:	0	0	0	ш	0
Prediscosphaera stoveri	 			æ		æ																														
Prediscosphaera cretacea	<u> </u>	. ഥ	<u>م</u>	ļ	ш	ш	ш	ш	Ľ	ц	ш.	ĸ	Ц.,	R	0	R	ш	æ	ш	R	R	ш	ш	ш.		R	ш	ш	R	ш	0	ш		0	ш	R
sniathar copulatus	 			ļ		<u> </u>					£									œ																_
Ceratolithoides aculeus	R	œ	R	R	æ	æ	æ	œ	R	R	ď	¢	œ	ď	œ	8	ď	œ	æ	œ	ß	£	R	ď	R	œ	ď	æ	ΓĽ.	œ	£					
simvotidmvə alləixeləsnahrah	0	0	0	0	0	0	LL_	0	Ľ	0	ι Υ	ш	ш	æ	щ	0	0	ድ	ш	0	0	ш	ш	뜨	0	LL_	ш	0	ш	ш	ш	0	ц.	æ		£
Broinsonia parca constricta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Broinsonia parca parca	Ľ	· LL	ш	ш	ш	<u>ш</u>	Ľ	Ľ.	<u>لد</u>	ш	ш	ш	ш.	0	Щ	ш.	ድ	œ	щ	ш,	<u>L</u>	ш.	ш.	ш.	ш.	<u>ц</u>	٣	æ	æ	ш	ш	æ	ш	œ	۳	æ
Reinhardtites biperforatus	ļ		-	ļ		ļ																												ц	0	<u>ш</u>
Reinhardtites levis	L		۲	æ	۲	ļ	œ	æ		ц	ዲ	ď		R				۲	œ			Я		2							ļ					
γις η αναειίς α	ļ			ļ		R	œ	ĸ		R											ъ															
γικησι εταπιορμοι.σ	0	0	υ υ	ပ	ပ	0	ပ	0	ပ	0	ပ	0	0	0	0	0	0	ပ	ပ	0	0	0	0	ပ	υ	0	0	0	υ	0	ပ	0	ပ	ပ	ပ	0
ςυτείαποιήαδανς ανειαστίας	Į		۲	ļ		R					£					£		۲	œ	æ	R	_														
iixnəkvə subdahanı	O	O	ပ	ပ	∢	∢	∢	۲	۲	۲	۲	ပ	ပ	۲	υ	۲	۲	۲	∢	۲	۲	۷	ပ	∢	∢	<	<	۲	∢	∢	۲	∢	ပ	ပ	ပ	ပ
simnotelana subdationaletus	L				Ľ	ļ		R	ĸ							œ	۲	۲			R	R					ц	R	۲		ļ		۲			
Tetralithus pyramidus																					_														R	ц
Calculites ovalis	L																											_		۲		ድ				ц
Calculites obscurus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
susifingam suirontquad			œ		ļ	ļ																	æ													
Microrhabdulinus tortus	u.	u.	ш	LL.	u.	Ľ.	LL_	ш	œ	ш	Ľ	ш	щ	ш	щ	ш	Ľ	ш	щ	ш	ш	ш	ш	ш	ш	ц .	ш.	ĸ	ď	œ	ድ	ш	Ъ	ш	ш	ഥ
sntorochabdulus decoratus	٣		۲	œ	Ľ				Ľ	٤	۲																									
Eiffellithus paralellus				œ	æ				۲																											
Eiffellithus turriseiffelli	LL	. u.	0	u.	L	u.	щ	u.	0	0	Ľ	ድ	u.	ı۲	R	۲	ш	ш	۲	0	щ	Ľ	<u>u</u>	ш	u.	ш	ш	ш	0	ц.	LL_	և	٣	u.	ш	ц
Cribrosphaerella ehrenbergi	Ъ	¢	ĸ	R	æ	Ъ.	œ	ĸ		R	Ъ	ዱ	œ	œ		æ	ĸ	œ	œ	œ	œ	ĸ			œ	ድ	œ	œ	ц	œ	ድ	œ	œ	œ	к	œ
gelecapsa crenulata	u.	. LL	۲	۲	ш	щ		œ	۲	ш	ш	۲	ш	œ	œ	ĽL.	щ	ш			ш	ட	œ	0	ш	ш	œ		¢	∝	ĸ	ட	ட	ш	և	ш
susitnosevsid sussibogyZ		ď	: œ		۲				۲						۲	œ	۲			œ	٣			۲	۲	œ	ш	ட	۲	۲	œ			۲	œ	ш
Braarudosphaera bigelowi	æ	~	œ	æ	¢	œ	۲	۲	۲	ፈ	ď	œ	۲	۲	æ	۲	Ľ	۴	ድ	œ	œ	œ		œ	۲	۲	œ	٣	œ	۲	ĸ	œ	œ	с	œ	щ
Parhabdolithus embergeri	ď	e e	£	R		և		æ	LL.		۲	œ	۲	ድ				۲	с	œ	2		œ		0	և		œ	LL.	և			œ		œ	ш
Watznaueria barnesae	∢	<	4	×	۲	۲	∢	۲	A	A	٨	۲	∢	۲	∢	۲	∢	∢	۲	۲	∢	∢	۲	۲	۲	∢	۲	∢	۲	∢	∢	∢	<	<	∢	∢
	_		~		_	-	~	6	~	~	+	_	6	~	_	+		~	m	-+		<u>رم</u>	~	~	*	_	~		m	4	_	ő		~	+	
METPN	4	14(13	132	1 5	12	12(11	112	ĩ	6	<u>10</u>	ക്	9	õ	ò	ŏ	2	õ	ð	ğ	ຜັ	പ്പ	4	4	₹	ĕ	6	ลั	Ň	Ň	7	7	-		
								·										•																		
	-		<u> </u>															\neg						1							\neg	l				_
								ST	וסו	111											sr	IDI.	(LI)					SU S	alu Səb	i I		ש ו	stoi Toi	276(112(d	'
	ľ						st	ուտ	sue	lqi	uΩ	l								Sľ	ine	ue	Iqu	۳U			-0	itpe	io1	era	\circ	B	ino	sui	910	E
жатадол	┢									4	ə		d	C)	1												н		ə	نــــــ لــــــ	 ſ	0		7	٦
	┝								_					 r		1						<u> </u>		<u></u>						-						-
ETAX							4																													
ЛИТОСТРАТ. ЕДИНИЦА	Ļ			ورو نور.				. 1 5	<u>e</u>	1	l	1	8	с) ,	.		K.	<u>ج</u>) 	H	6 ••••] 	<u>ا</u>	6 	-	E		.	177						4
		T.		-								T				-				μ	-										-					
ЛИТОПОЖКА КОПОНК∆	Ľ		H							H	H	H-			Η	<u> </u> _	╟				ЦЦ	Н	-							ĮН	H		Ľ			
			$\ $																																	

Фиг. 4. Стратиграфско разпространение на 32 нанофосилни вида в разреза на Беленската свита северно от Белия нос, опробване през 4 m. Честотата на срещане на видовете: А – изобилно; С – често; О – регулярно; F – спорадично; R – рядко; 1 – циклични варовици; 2 – разломи

Разпространението на Беленската свита е твърде ограничено. На повърхността тя се разкрива по-широко в околностите на гр. Бяла, Варненско и съвсем ограничено на запад от с. Бърдарево. Установена е и в сондажите от Беленска площ С-11, С-12, С-21, С-23, С-24, С-25, С-26, С-27, С-28, С-29, С-30 (Джуранов, 1989), както и в сондажите от акваторията на Черно море Р-1 Самотино-изток и Р-1 Самотино-море (Джуранов, 1991). В последните два сондажа данните за наличието на кампан-палеоценски скали не се потвърждават по варовит нанопланктон 1994), което поставя под съмнение (Стойкова. присъствието на свитата в тях. Свитата не присъства и в сондажите на British gas LA IV/91-1 и LA IV/91-3, където еоценските отложения лежат върху ценомански или долнокредни скали.

Настоящи резултати

При едно изследване на най-старите нива на Беленската свита в разреза при Белия нос, на около 500 m северно от входа на централния плаж, бе установено отсъствието на някои характерни за Горния Кампан нанофосилни видове. Разрезът е изграден от циклични варовици, характерни за почти целия стратиграфски обем на единицата. Циклите са с дължина на вълната близка до тази в горномастрихтските нива на свитата – около 1 m. Варовиците са по-здрави от тези в по-горните стратиграфски нива и практически са без мергелни прослойки (фиг. 2). Тази част от разреза е сравнително пълно представена и в рамките на опробвания участък има само два разлома без данни за значително разместване (фиг. 4).

Най-долните нива от разреза съдържат кампанския нанофосилен вид *Broinsonia parca* (Stradner) Bukry ssp. *constricta* Hattner et al., който е индексов вид за нанофосилна зона Broinsonia parca (долен Долен Кампан). Тази зона е дефинирана като интервал от появата на инексовия вид до появата на *Ceratolithoides aculeus* (Stradner) и обхваща долните 16 m от опробвания разрез. Тъй като долната граница попада в акватгорията на Черно море, не може да се определи дебелината на зоната и евентуалното наличие на по-стари скали.

На 16 m от основата на разреза се появява следващият зонален репер, който е индексов вид за по-младата долнокампанска зона Ceratolithoides aculeus. Тя обхваща останалата част от разреза на Долния Кампан до първия разлом с дебелина 16 m. Така Долният Кампан е с обща дебелина 32 m. Интервалът между двата разлома и над тях принадлежи на горнокампанската таксонакрозона Uniplanarius trifidus. Нанофосилната асоциация е доста богата и освен транзитните за Кампана видове в състава й влизат характерните за тази зона Uniplanarius trifidus (Stradner), Uniplanarius gothicus (Deflandre) и изчезващия в края на Кампанския век Eiffellithus eximius (Stover). По тектонски причини липсва по-старата горнокампанска зона Uniplanarius gothicus, дефинирана като интервал между появата на Uniplanarius gothicus (Deflandre) и Uniplanarius trifidus (Stradner).

Тези данни позволяват да се разшири стратиграфския обхват на Беленската свита на Кампан – Горен Палеоцен.

Заключение

Въпреки добрата изученост на Беленската свита, засега още не е ясно кога точно е оформен басейнът и е задействан този природен генератор на циклични варовици. Очевидно това е станало доста по-рано, отколкото се предполагаше досега – още в началото на Кампанския век или дори преди това. Настоящото изследване на нанофлората от Беленската свита е още една крачка към изясняването на стратиграфския обхват на тази уникална за България периодитова седиментация. В това отношение капацитетът на разкритията по крайбрежието вече е изчерпан. За изясняването на стратиграфския обем и взаимоотношенията на Беленската свита с останалите единици в района трябва да се търсят нови разкрития на запад от крайбрежието, като например при с. Бърдарево, където следва с постепенен преход над варовиците на Ветрилската свита.

Азбучен указател на определените нанофосилни видове:

Arkhangelskiella cymbiformis Vekshina Braarudosphaera bigelowii (Gran & Braarud) Deflandre Broinsonia parca (Stradner) Bukry ssp. parca Broinsonia parca (Stradner) Bukry ssp. constricta Hattner et al. Calculites obscurus (Deflandre) Prins & Sissingh Calculites ovalis (Stradner) Prins & Sissingh Ceratolithoides aculeus (Stradner) Prins & Sissingh Cribrosphaerella ehrenbergii (Arkhangelsky) Deflandre Eiffellithus eximius (Stover) Perch-Nielsen Eiffellithus parallelus Perch-Nielsen Eiffellithus turriseiffellii (Deflandre) Reinhardt Kamptnerius magnificus Deflandre Lucianorhabus arcuatus Forchheimer Lucianorhabus cayeuxii Deflandre Lucianorhabus maleformis Reinhardt Microrhabdulus decoratus Deflandre Microrhabdulinus tortus Stover Micula staurophora (Gardet) Stradner Micula swastica Stradner & Steinmetz Parhabdolithus embergeri (Noël) Stradner Prediscosphaera cretacea (Arkhangelsky) Gartner Prediscosphaera microrhabdulina Perch-Nielsen Prediscosphaera stoveri (Perch-Nielsen) Shafik & Stradner Reinhardtites biperforatus (Gartner) Shafik Reinhardtites levis Prins & Sissingh Retecapsa crenulata (Bramlette & Martini) Grün Tetralithus pyramidus Gardet Petrarhabdus copulatus (Deflandre) Wind & Wise Uniplanarius gothicus (Deflandre) Hattner & Wise Uniplanarius trifidus (Stradner) Hattner & Wise Watznaueria barnesae (Black) Perch-Nielsen Zygodiscus bicrescenticus Stover

Литература

- Атанасов, А. 1961. Геология на приморския дял от Предбалкана и Камчийската долина. – *Тр. Геол.* България, сер. Страт. и тект., 2, 99-157.
- Бончев, Г. 1926. Скалите в северните отдели на Балкана между Черно море, Котел-Дервинтския проход, гребена и реките врана и Голяма Камчия. – Сп. БАН, Кл. прир.-мат., 34, 16, 1-99.

- Ботев, Б. 1953. Бележки върху геологията на найизточната част на Източна Стара планина. – Изе. Геол. инст. на БАН, 2, 3-26.
- Вангелов, Д., Д. Синьовски. 2000. Нови данни за стратиграфията на горнокредно-палеогенските скали и развитието на седиментационните обстановки в част от Източния Предбалкан. – Год. СУ, Геол.-геогр. ф-т, 93, кн. 1, Геология, 39-64.
- Гочев, П. 1932. Геологични наблюдения по Черноморското крайбрежие между устието на р. Камчия и нос Емине. – Сп. Бълг. геол. д-во, 4, 3, 200-213.
- Джуранов, С. 1984. Литостратиграфия на седиментите от сенон-средноеоценския интервал в околностите на селата Бяла и Горица, Варненско. *Год. ВМГИ*, *30*, 2, 13-23.
- Джуранов, С. 1989. Данни за геоложкия строеж на Беленската площ – Източна Стара планина. – Год. ВМГИ, 35, 7-18.
- Джуранов, С. 1991. Стратиграфия на горнокредната серия и палеогенската система в разрезите на морските сондажи край с. Самотино. – Сп. Бълг. геол. д-во, 52, 3, 19-29.
- Джуранов, С. 1993. Беленска варовикова свита. В: Тенчов, Я. (ред.) Речник на българските официални литостратиграфски единици (1882-1992), С., Изд. БАН, с. 32.
- Златарски, Г. 1907. Сенонският кат в Източна България, северно от Балкана и подразделението му на долен (Emscherien) и горен (Aturien) подкат. – Год. СУ, Физ.-мат. фак, 2, 31-51.
- Коен, Е. 1938. Общи ориентировачни профили през Източна Стара планина с оглед на петролната геология. – Сп. Бълг. геол. д-во, 10, 1, 1-34.
- Кънчев, И. 1965. Обект No 2: Верхний мел Беленской антиклинали. – Путев. экск. А, VII Конгр. КБГА, С., 115-116.
- Синёвски, Д. 1990. Биостратиграфия верхнего мела и палеоцена Болгарии по известковому наннопланктону. – В: Николов, Т. Г. (Ред.) *Микрофоссилии в болгарской стратиграфии*. С., Болг. геол. общ., 43-46.
- Синьовски, Д. 2003. Пет защитени разкрития на границата Креда/Терциер в България. – Год. 50 г. МГУ, 46, св. 1, Геол. и геофиз., 177-183.
- Стойкова, К. 1994. Нанофосилна биостратиграфия на сондажите в Черноморския шелф при селата Самотино и Шкорпиловци. Сп. Бълг. геол. д-во, 55, 1; 69-82.
- Стойкова, К., М. Иванов, В. Беливанова, Р. Костов, Р. Цанкарска, Т. Илиева. 2000. Интегрирани стратиграфски, седиментоложки и минералого-геохимични изследвания на границата Креда/Терциер в България. – Сп. Бълг. геол. д-во, 61, 1-3; 61-75.

Препоръчана за публикуване от Катедра "Геология и палеонтология", ГПФ

- Трифонова, Е. 1960а. За присъствието на палеоцен в Източна България. – Год. Упр. геол. проучв., 10, 155-162.
- Трифонова, Е. 19606. Южносенонски фораминиферни видове от мастрихта при с. Бяла, Варненско. – Изе. Геол. инст. БАН, 8, 347-359.
- Adatte, T., G. Keller, S. Burns, K. H. Stoykova, M. I. Ivanov, D. Vangelov, U. Kramar, D. Stüben. 2002. Paleoenvironment across the Cretaceous-Tertiary transition in eastern Bulgaria. – Geol. Soc. of America, Special Paper 356, 231-251.
- Ivanov, M. 1993. Uppermost Maatsrichtian ammonites from the uninterrupted Upper Cretaceous – Paleogene section at Bjala (East Bulgaria). – *Geologica Balc.*, 23, 4, p. 50.
- Ivanov, M., K. Stoykova. 1994. Cretaceous/Tertiary boundary in the area of Bjala, eastern Bulgaria – biostratigraphical results. – *Geologica Balc.*, 24, 6, 3-22.
- Ivanov, M., K. Stoykova. 1995. The Cretaceous/Tertiary boundary and the "mass extinction" problem as could be seen in the sections around Bjala (East Bulgaria). - C. R. de l'Acad. bulg. Sci., 48, 2, 77-79.
- Juranov, S. 1983. Planktonic foraminiferal zonation of the Paleocene and the Lower Eocene in part of East Balkan mountains. *Geologica Balc., 13,* 2, 59-73.
- Pollak, A. 1933. Geologische Untersuchungen uber das Endstruck Ostbalkans. – Abt. Math. Phys. Kl. d. Sachs. Acad. D. Wiss., 41, 7, 1-60.
- Preisinger, A., S. Aslanian, K. Stoykova, F. Grass, H. J. Maurititsch, R. Sholger. 1993a. Cretaceous/Tertiary boundary sections on the coast of the Black Sea near Bjala (Bulgaria). – *Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol.*, 104, 219-228.
- Preisinger, A., S. Aslanian, K. Stoykova, F. Grass, H. J. Maurititsch, R. Sholger. 19936. Cretaceous/Tertiary boundary sections in the East Balkan area, Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 23, 5, 3-13.
- Rögl, F., K. Von Salis, A. Preisinger, S. Aslanyan, H. Summersberger. 1994. Stratigraphy across the Cretaceous/Paleogene boundary near Bjala, Bulgaria. – Act. Collog. Angers, 1994, 673-683.
- Sinnyovsky, D. 2001. Periodites from the Cretaceous-Tertiary boundary interval in several sections from East Bulgaria. - C. R. Acad. bulg. Sci., 54, 4, 65-73
- Stoykova, K. H., M. I. Ivanov. 1992. An uninterrupted section across the Cretaceous/Tertiary boundary at the town of Bjala, Black Sea Coast (Bulgaria). – C. R. Acad. Bulg. Sci., 45, 7, 61-64.
- Stoykova, K., M. Ivanov. 2002. Events and sequence stratigraphy of the Maastrichtian and Danian in Bulgaria. *Geologica Balc.*, 32, 2-4, 55-61.
- Stoykova, K., M. Ivanov. 2004. Calcareous nannofossils and stratigraphy of the Cretaceous/Tertiary transition in Bulgaria. *J. Nannoplankton Res., 26,* 1, 47-61.

ТИПОМОРФНИ МИНЕРАЛНИ АСОЦИАЦИИ В ЗОНИТЕ НА ИЗВЕТРЯНЕ НА МЕДНИТЕ ОРУДЯВАНИЯ В БЪЛГАРИЯ

Маргарита Токмакчиева

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

РЕЗЮМЕ. Минералният състав на зоните на изветряне на медните находища в България е твърде характерен. Съществува пряка зависимост между минералния състав на хипогенните и хипергенни минерализации. Тези зони са обект на дългогодишни изследвания и за добив на минерални ресурси. Типоморфните минерали в състава на зоните на изветряне на медните находища са характерни за определените типове орудявания. Типоморфните минерални асоциации са указател за типа на находището и могат да бъдат използвани при търсенето и проучването на нови медни орудявания. Зоните на изветряне на медните находища са характерни за определените типове орудявания. Типоморфните минерални асоциации са указател за типа на находището и могат да бъдат използвани при търсенето и проучването на нови медни орудявания. Зоните на изветряне на медните находища в България представляват източник за добив на мед, злато, сребро, каолин, пигменти, ювелирни минерали и други минерални суровини.

TYPOMORPHIC MINERAL ASSEMBLAGES OF THE WEATHERING ZONES IN THE COPPER MINERALIZATIONS IN BULGARIAN

Margarita Tokmakchieva

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

ABSTRACT. The mineral composition of the wethering zones in the copper mineralisations in Bulgerian has beenstudied. Direct relation between the composition of the hypogenetic and hypergenetic mineralisations is identified. These zones are subject to development and production of a wide range of mineral resources. The typomorphic minerals are tabulated for the types of mineralization by degree of significance. Mineral typomorphic lines are presented for the various types of deposits, and the typomorphism may be successfully utilized for exploration for new mineralization. The tipomorphic mineral assemblages of the weathering zones in the copper mineralization in Bulgaria suggests their development for production of copper, gold, kaolin, pigments and other mineral resources.

Въведение

Минералният състав на зоните на изветряне на различните генетични типове медни находища е твърде разнообразен. Той се формира в широк диапазон от време при различни физикохимични условия и в съответствие с характера на хипогенната медна минерализация. За отделните генетични типове медни находища се образуват типоморфни хипергенни минерални асоциации. Тяхното изучаване и систематизиране дава възможност да се определят надеждни критерии при търсенето и проучването на минералните находища.

Минералогията на зоните на изветряне е много по-богата от тази на първичните медни минерализации. Хипергенните минерали са около 30% от всички установени до днес минерални видове и разновидности (Минчева-Стефанова, Р. Костов, 2000). Те са разпространени на самата земна повърхност и на неголяма дълбочина. Това ги прави лесно достъпни за изследване. Това са оксиди, хидроксиди, карбонати, сулфати и в по-малки количества силикати, самородни елементи, арсенати, молибдати и други. За всеки генетичен тип медно находище са характерни определени типоморфни минерали. Характеристиката на природните химични реакции и агенти на изветряне на сулфидните находища са обстойно разгледани в монографията "Зона окисления сульфидных месторождений" на С. С. Смирнов.

Зоните на изветряне на медните находища са източник за добив на разнообразни минерални ресурси. Изучаването на минералния им състав е от голямо значение за добиването им и разработване на подходяща схема за тяхната технологична преработка. Методиката на тяхното изследване е твърде специфична и е чудесно разработена в монографията "Определитель гипергенных минералов окисленных сульфидных руд в отражонном свете" ва Е. Л. Афанасьева и М. П. Исаенко.

Методика

Минералите от зоните на изветряне на медните находища образуват минерални смеси. Те са силно обогатени на различни примеси. Много често са характерни празнини на извличане и тънки прораствания между отделните хипергетнни минерали. Често се наблюдават псевдоморфози върху хипогенните сулфидни минерали. Агрегатите са прахообразни и крехки. Това ги прави много трудни за изследване. Подбора на проби и тяхната обработка изисква прецизност. Направата на шлифи често пъти е невъзможно, тъй като хипергенните минерали се размиват и преминават в отпадъка или се разтварят.

Поради това един от най-подходящите методи за тяхното наблюдаването изследване е под бинокулярен стереомикроскоп за визуално описание (виж приложението), електронната микроскопия в суспензии, инфрачервената микроскопия и диференциалнотермичния анализ. Химичният анализ най-често се извършва за минерални смеси. При възможност се провежда и микросондов анализ. Един от най-надеждните методи с висока разрешителна способност е дифрактометричният анализ. Различните видове анализи задължително се провеждат паралелно за едни и същи образци, за да се постигне най-добра интерпретация на резултатите Диагностиката на минералите е направена на основата на няколко метода (Токмакчиева, 1994).

Резултати

Типоморфните минерали са изведени за отделните генетични типове медни находища у нас. Това е направено след задълбочено изучаване минералния състав на зоните на изветряне. За някои от находищата са ползвани публикувани данни от изследванията на други автори. Посочените находища са най-типичните представители от отделните генетични групи (Б. Богданов, 1987). За съжаление минералният състав на зоните на изветряне на някои от находища, от които са добивани медни руди в началото на миналото столетие, не е добре изучен. Това затрудни систематизирането на типоморфните минерални асоциации за тях.

ТИПОМОРФНИ МИНЕРАЛНИ АСОЦИАЦИИ В ЗОНИТЕ НА ИЗВЕТРЯНЕ ПО ГЕНЕТИЧНИ ТИПОВЕ МЕДНИ НАХОДИЩА

ЕНДОГЕННА ГЕНЕТИЧНА СЕРИЯ

СКАРНОВА ГЕНЕТИЧНА ГРУПА

Типоморфна минерална асоциация в зоните на изветряне:

халкоцит, ковелин, борнит, малахит, азурит, куприт, халкотрихит, мед, гьотит, хидрогьотит, халкантит, хризокола, тенорит, брошантит

Типоморфни минерали:

куприт, малахит, халкоцит, хидрогьотит, азурит, мед

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група:

малахит, азурит, хидрогьотит, халкоцит

Находища: Пропада, Градище, Младеново, Бърдцето (Малко Търновско), Прохорово (Ямболско)



Малахит, нах. Бръдцето, Малко Търновско

ХИДРОТЕРМАЛНА ГЕНЕТИЧНА ГРУПА ПЛУТОНОГЕНЕН КЛАС

А) МЕДНО-МОЛИБДЕНОВО-ПОРФИРНИ

Типоморфна минерална асоциация в зоните на изветряне:

Хематит, хематолит, гьотит, минералната смес "лимонит", лепидокрокит, хидрогьотит, хидрохематит, халуазит, каолитит, хидрослюди, малахит, азурит, халкоцит, ковелин, джърлеит, злато, молибдит, хризокола, сферосидерит, минерална разновидност "спекуларит", борнит, куприт, цинкит, тенорит, клаудетит, халкофилит, тенардит,

Типоморфни минерали:

хематит, хематолит, гьотит, лепидокрокит, малахит, халкоцит, ковелин, джърлеит, молибдит, хризокола, сферосидерит, минерална разновидност "спекуларит"

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група:

хематолит, малахит, молибдит, хризокола, сферосидерит, минерална разновидност "спекуларит"

Находища: Елаците (Етрополско), Медет (Панагюрско)



Ювелирен малахит, нах. Елаците, Етрополско

Б) МЕДНО-ПОРФИРНИ

Типоморфни минерални асоциации в зоните на изветряне:

Хематит, лимонит, хидрогьотит, лепидокрокит, каолинит, хидрослюди, илит, халуазит, халцедон, дикит, тенорит, куприт, малахит, азурит, спанголит, халкантит, халкоцит, ковелин, дигенит, джърлеит, борнит, магхемит, мартит, злато, мед, брошантит, тенардит, антлерит, минерална разновидност "спекуларит", минерална смес "лимонит", гьотит, хризокола

Типоморфни минерали:

хематит, минерална смес "лимонит", каолинит, хидрослюди, халуазит, тенорит, куприт, халкантит, халкоцит, ковелин, джърлеит, магхемит, минерална разновидност "спекуларит", мартит, злато, мед, брошантит, тенардит, антлерит

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група:

каолинит, халуазит, тенорит, халкантит, магхемит, мартит, брошантит, тенардит, джърлеит

Находища: Асарел, Цар Асен, Петелово, Влайков връх Попово дере (Панагюрско)



Мед, дендрити от нах. Цар Асен, Панагюрско



Халкоцит и ковелин, нах. Асарел, Панагюрско



Куприт, находище Цар Асен, Панагюрско



Каолинит, нах. Асарел, Паонагюрско

В) ЖИЛНИ

Типоморфна минерална асоциация в зоните на изветряне:

каолинит, вивианит, керченит, гьотит, хидрогьотит, хидрохематит, мартит, повелит, илземанит, малахит, азурит, куприт, тенорит, хризокола, мед, халкантит, борнит, халкоцит, ковелин, калцит

Типоморфни минерали:

гьотит, хидрогьотит, хидрохематит, мартит, азурит, малахит, халкантит, куприт, халкоцит, ковелин, тенорит, мед

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група:

гьотит, хидрогьотит, хризокола, борнит, халкантит, малахит, калцит

Находища: Върли бряг, Росен, Зидарово (Бургаско) Бакаджик (Ямболско)



Гьотит, хидрогьотит, азурит, малахит, халкантит, куприт, халкоцит, ковелин, нах. Върли бряг, Бургаско

ВУЛКАНОГЕНЕН КЛАС

Типоморфна минерална асоциация в зоните на изветряне:

малахит, азурит, гьотит, хидрогьотит, калцит, хидрохематит, англезит

Типоморфни минерали: малахит, азурит

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група: малахит, азурит

Находища: Горни Лом (Белоградчишко), от Граматиковско рудно поле



Азурит, гьотит, хидрогьотит, англезит, нах. Горни Лом (Белоградчишко)

АМАГМАТОГЕНЕН КЛАС

Типоморфна минерална асоциация в зоните на изветряне:

Халкозин, ковелин, борнит, малахит, азурит, церусит, англезит, кобалтов смитсонит, смитсонит, джърлеит

Типоморфни минерали:

азурит, малахит, борнит, кобалтов смитсонит, джърлеит

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група:

Джърлеит, смитсонит, борнит, халкоцит

Находища: Седмочисленици, Венеца, Издремец, Плакалница (Врачанско)



Борнит, нах. Плакалница, Врачанско



Малахит, азурит, нах. Венеца, Врачанско

ЖЕЛЕЗОСУЛФИДНА ГЕНЕТИЧНА ГРУПА

Типоморфна минерална асоциация в зоните на изветряне:

хематит, минерална смес "лимонит", хидрохематит, лепидокрокит, гьотит, халуазит, каолинит, гипс, халцедон, хидрослюди, халкоцит, ковелин, джърлеит, дигенит, анилит, ярозит, мелантерит, стипци, халкантит, малахит, азурит, злато, сяра, халотрихит

Типоморфни минерали:

хематит, минерална смес "лимонит", гипс, халцедон, анилит, ярозит, злато, сяра, халотрихит, стипци, халкоцит, ковелин

Характерен хипергенен минерал за тази генетична група:

гипс, анилит, ярозит, злато, сяра, халотрихит, стипци

Находища: Елшица, Радка, Красен, Челопеч (Панагюрско)



Гипс, нах. Елшица, Панагюрско



Сяра и стипца, нах. Елшица, Панагюрско



Халотрихит, нах. Челопеч, Софийско

Заключение

Минералният състав на зоните на изветряне на различните генетични типове медни находища е разнообразен и твърде богат. При съпоставка с хипогенната минерализация се установява, че спецификата на хипергенните типоморфни минерални асоциации отразяват характера на първичната сулфидна минерализация. За всеки генетичен тип медно орудяване са определени типоморфните минерали. Изведените характерни хипергенни минерали са допълнителен белег за прогнозиране типа на генетичната група.

Този труд регистрира голямото минерално разнообразие по видове и разновидности на зоните на изветряне на медните находища в България. Това се дължи на богатия минерален състав на хипогенната медна минерализация от разнообразен генетичен тип. Минераложките и научногеоложките изследвания не прекъсват, поради което очакваме списъка на минералните названия в зоните на

Препоръчана за публикуване от Катедра "Минералогия и петрография", ГПФ изветряне на медните орудявания да се допълва и обогатява.

В България има медни находища-представители на всяка генетична група. Това дава възможност изведените типоморфни минерални асоциации в зоните на изветряне да бъдат използвани като надежден критерии за търсене, прогнозиране и откриване на нови медни находища не само у нас, но и в други страни.

Хипергенните медни минерализации са източник за добив на мед, каолин, ювелирни минерали, злато, сребро, пигменти и други минерални суровини. Направената систематика на типоморфните минерални асоциации в зоните на изветряне на медните находища дава възможност да се разработят подходящи схеми за добива им и технологичната им обработка.

Литература

- Афанасьева, Е. Л., М. П. Исаенко. 1981. Определитель гипергенных минералов окисленных сульфидных руд в отраженном свете. М., Недра, 134 с.
- Богданов, Б. 1987. *Медните находища в България*. С., Техника, 389 с.
- Минчева-Стефанова Й., Р. И. Костов. 2000. Регистър на минералите в България, Спис. БГД, 61, 111-131.
- Смирнов, С. С. 1951. Зона окисления сульфидных месторождений. М., АН СССР, 335 с.
- Токмакчиева, М. 1994. Минерален състав, геохимични особености и генезис на медните минерализации от Панагюрско-Етрополския руден район. АСИ-ООД, С., 458 с.

МИНЕРАЛОЖКИ ОСОБЕНОСТИ И РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА ГРАНАТОВИТЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РАЙОНА НА САКАР, ЮГОИЗТОЧНА БЪЛГАРИЯ

Николета Цанкова¹, Олег Витов²

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

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

РЕЗЮМЕ. Настоящата работа предоставя данни за морфологията, размера и химичният състав на гранати от метаморфната рамка на Сакарския плутон. Изследвани са образци от районите на селата Орлов дол (слюдени шисти), Хлябово (слюдени и хлоритови шисти), Орешник (слюдени шисти), Планиново (слюдени шисти и амфиболити) и Дервишка могила (слюдени шисти). Размерът на гранатовите порфиробласти варира от 0,70 до 50,10 mm. Морфологията им е представена от {110} или комбинации с {211}, в които доминираща проста форма е {110}. Имат преобладаващо алмандинов състав (Alm 69,91-78,96 mol %) с вариращо съдържание на останалите компоненти. Ореолите на разсейване на граната са изследвани по данни от Националния Геофонд. Извършен е статистически анализ на разпределението на съдържанието на граната, вероятността му за откриване в пробите и са посочени значимите статистически корелати. Изготвени са шлихоминераложки прогнозни карти за търсене на гранатови минерализации и е изработен Фурие модел на закономерностите в разпределението им. Установява се, че граната е силно разсеян в региона, при което 24 % от гранатовите порявления в шлихоминераложки е проби са привързани към рамката на Сакарския плутон и мариират ясно изразени ивици с посока СЗ-ЮИ и СИ-ЮЗ. Изявените шлихоминераложки аномалии на гранат се разполатат в ивицита Хлябово – Карабаир и източно в района на долината на р. Явуздере.

MINERALOGICAL PECULIARITIES AND DISTRIBUTION OF GARNET MINERALIZATIONS IN THE REGION OF SAKAR, SOUTHEAST BULGARIA

Nikoleta Tzankova¹, Oleg Vitov²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; niktzankova@abv.bg ²Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography "Acad. Ivan Kostov", BAS, Sofia 1113; vitov@abv.bg

ABSTRACT. The present paper provides data about morphology, size and chemical composition of garnets from the frame of Sakar pluton. The places of sampling are in the region of the villages Orlov Dol (mica schists), Hlyabovo (mica and chlorite schists), Oreschnik (mica schists), Planinovo (mica schists and amphibolites) and Dervischka Mogila (mica schists). The size of the studied garnets range from 0,70 to 60 mm. Their morphology is represented by {110} or by combinations of {110} with small {211} faces. All garnets are almandine rich (Alm 69,91-78,96 mol %) with varying amounts of the other end members. The aureols of garnet distribution have been studied on the basis of data from National Geofund. Statistical study of quantitive distribution of garnets and the probability of its finding in the probes has been presented and the significant statistical correlates and miscorrelates has been shown. The prognosticative maps are prepared in order to prospect garnet mineralization. Furrier model of the regularities in garnet distribution has been worked out. Approximately 24 % of the garnet presence in heavy concentrate probes are present in the Hlyabovo – Karabair stripe and on the East in the region of the Yavuz Dere valley.

Въведение

Гранатът е интересен обект за минераложки изследвания, тъй като представлява удобен типоморфен минерал – в сравнение с други широко разпространени магнезиално-железисти минерали се характеризира с помалко разнообразие в изоморфните си редици. Доказан много добър петрогенетичен индикатор. Полезно изкопаемо – евтина и ценна суровина за абразивната промишленост. Използва се под формата на свързан и свободен абразив (за направа на шкурка, абразивни дискове, полирпасти и др.) Гранатът е единствен абразив в модерната технология "watter jet cutting" – рязане и полиране с водна струя на материали с различна твърдост (от керамика и стъкло до легирана стомана и електронни елементи). Европа има минимален добив на гранат от Чехия, Норвегия, Италия, Полша. Основното количество използван абразив е внос от САЩ, Австралия и др., което предопределя необходимостта от допълнителни минераложки проучвания на гранатсъдържащите разсипни и коренни минерализации в България (проект на SE Europe Geoscience Foundation, 2006). Предмет на настоящата статия са предварителни изследвания на гранатсъдържащите слюдени шисти и ореолите им на механично разсейване на гранат в района на Сакар планина.

За целта е извършена сравнителна характеристика на минераложките особености на граната от рамката на Сакарския плутон (фиг. 1) и са изведени закономерности в разпределението на минерализациите му. Изследвани са морфометрията, хабитусните типове, химичния състав и пространственото разпределение на граната. Определени са минералните асоции с гранат по данни от петрографски препарати, изкуствен шлих и архивни данни от шлихоминераложките картировки.

Геоложка обстановка

Сакарската единица принадлежи към Странджанската зона на Балканския сегмент от Алпо-Хималайския орогенен пояс (Чаталов, 1990) и влиза в състава на

Средногорската морфоструктурна зона (Бончев, 1971). Главно магмено тяло в изследваната област е Сакарският гранитен плутон с дължина около 40-44 кm и ширина 15-20 субекваториално направление. кm. удължен в Метаморфната му мантия (по Кожухаров и др., 1994, 1995) е предимно от скали на Прародопската супергрупа и Тополовградската група (фиг. 1). На север и на запад от плутона метаморфните скали са припокрити от терциерни седименти. Установено е полиметаморфно развитие на докамбрийските скали от рамката със смяна на прогресивни и регресивни етапи на метаморфизъм през докамбрий и фанерозой (Кожухаров, Кожухарова, 1973. 1974: Кожухаров, 1991). Метаморфитите от рамката на Сакарския плутон според Скендеров и др. (1986) и Иванов и др. (2001) са единен метаморфен комплекс. Регионалният метаморфизъм в изследвания район (по Иванов и др., 2001) се е проявил еднократно и е засегнал цялата скална последователност.

Известни гранатови минерализации от района на Сакар

За първи път гранатови минерализации от различни части на изследвания район са описани от Бончев (1923). За гранати от района на Тополовград Николов (1936) определя преобладаващо алмандинов състав с високо съдържание на СаО и MgO оксиди. Размерът им е до 40 mm, а морфологията им е представена от комбинация от {110} и {211} (Костов, 1950).

Gerdjikov (2004) дава данни за размера (от 2 до 60 mm), количественото съдържание (8%) и условията на формиране на гранатови порфиробласти, включени в шисти и гнайси, по протежение на североизточната граница на плутона.

Северно от с. Дервишка могила са изследвани гранатставролитови шисти. Главни минерали в тях са алмандинов гранат до 10 mm в диаметър, ставролит с дължина по оста с до 30 mm, биотит, мусковит и кварц. (Костов, 1958). Непосредствено южно от с. Дервишка могила алмандина е с размер около 5 mm и същите особености като този от Явуздере (Костов и др., 1964). В ксенолити от периферната югозападна зона на Сакарският гранит е описан гранат под формата на единични светлокафяви кристали с размер до 7 mm. Хабитусът му е представен от {110}, изотропен. Има параметър на елементарна клетка 11,66 Å и междинен андрадиталмнадинов състав: Adr 40.3 %, Alm 39.0 %, Sps 15.0 % и Ргр 5,7% (И. Иванов, 1965). В шисти и гнайси на юг от вр. Дервишка могила е изследван гранат с идиоморфни очертания и много включения, предимно от кварц. За последните са наблюдавани белези на синтектонско нарастване – Ѕ-видно усукване на включенията (Кожухарова и Кожухаров, 1973).

Материал и методи на изследване

Изследвани са минераложките особености на гранат от естествени разкрития от районите на селата Орлов дол, Хлябово и Дервишка могила (включени в пределите на Жълтичалската свита по Кожухаров и др., 1994; 1995) и от околностите на с. Орешник и с. Планиново (включени в пределите на Устремската свита). Гранатовите минерализации са описани в следния ред: район на с. Орлов дол – ОД-2, ОД-4, ОД-5 и ОД-6 (слюдени шисти); район на с. Хлябово – ХС-7 (хлоритови шисти) и ХЯ-8 (слюдени шисти); район на с. Орешник – О-Р9 (гранатставролитови слюдени шисти); район на с. Планиново – ПЛ-11а (амфиболити) и ПЛ-12 (гранат-ставролитови слюдени шисти); район на с. Дервишка могила – ДМ-14 (слюдени шисти) (фиг. 1).





За определяне на вместващите граната скали и минералната асоциация в тях са използвани методите на оптическа микроскопия в проходяща светлина с микроскоп Amplival.

Морфометричния анализ е проведен върху 300 монокристала (от всяко гранатова проба по 30). Измервани са осите a, b, c със шублер с точност 0,1 mm. Данните са кодирани в програма EXCELL – MS OFFICE. Изчисленията на морфометричните коефициенти е извършено с помощта на специално изготвена програма "GARNET" (QBASIC, MS WINDOWS, PENTIUM-2) - модифициран вариант на програма за морфометричен анализ на кварцови късове "QUARTZ" (FORTRAN-IV, МИНСК-32, Витов, 1978 – дипломна работа, МГУ). По-късно тази програма е модифицирана за изследване морфометрията на златинки (програма "AURUM", FORTRAN-IV, ИЗОТ-310, Кръстев и Витов, 1983-84) и като такава е депонирана в IMA като базова програма (Vitov, 1992). Резултат от обработката на данни са таблици с изчислени морфометрични коефициенти, статистически параметри на коефициентите, диаграма по Zingg, сравнение между извадките с прилагане на Т-критерий на Student (по Девис, 1977).

Върху част от образците е извършено измерване на ъглите с допирателен гониометър KARL ZEISS - IENA. Хабитусните типове са класифицирани по установените от Костов (1950) кристални форми за гранатите от България. Химичният състав е изследван с помощта на Атомноемисионен спектрален анализ с индуктивно свързана плазма (AES ICP) в лаборатория "Геохимия" – МГУ, София.

За определяне на ореолите на механично разсейване на граната са използвани данни от Националния Геофонд (Витов, 1995; 2001) – геоложки доклади I-376, IV-94, IV-242, IV-263, IV-264, IV-346, IV-376, IV-379, IV-388, в които фондови единици граната е отбелязан като групово име. Данните са интерполирани и екстраполирани с двумерно Фурие моделиране (Девис, 1977). Резултатите от изследванията са анализирани като сравнение между модел и данни, анализ на остатъците и определяне на коефициента на загуба на информация. Корелацията между минералите е изследвана с прилагане на Поасонов тест – модел на Бернули (Витов, 1992). Изследванията са извършени с помощта на специално създадена програма за обработка на данни от шлихоминераложкото опробване "REGION" (QBASIC, MS WINDOWS, PENTIUM-2).

Минераложки особености на граната

Район на с. Орлов дол

ОД-2 – разкрития на двуслюдени шисти между селата Орлов дол и Мъдрец, на около 500 m западно от вр. Гьоптепе. Минералната асоциация на граната е представена от кварц, биотит, мусковит, олигоклаз (Ап 13.08%, Ab 86,71%, Or 0,20%), илмени турмалин, циркон, апатит, рутил. Гранатовите порфиробласти най-често се разполагат в линия на границата между ивици, изградени от слюда и от кварц. Имат малиновочервен цвят със слаб лилав оттенък, непрозрачни. Размерът им варира от 0,5 до 3 mm (табл. 1) като под 1 mm са 56,7% от изследваните образци. Наблюдава се под формата на добре остенени кристали и по-рядко като зърна с утъпени очертания. С ромбододекаедричен хабитусен тип f са 83,3% от кристалите. В останалите образци се наблюдават комбинации от {110} с {211}, в които доминира ромбододекаедъра – хабитусен тип е (фиг. 2). Граната е с преобладаващо алмандинов състав (Alm 71,20%) и сравнително еднакво процентно съотношение на останалите компоненти (табл. 3).

Таблица 1

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-2 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	b	С	f	K1	K2	КЗ	K4	K2	K6	K7	K8	К9
Xsr	1.5	1.2	1.2		.85	1.27	.94	1.2	.81	.88	1.08	.29	.08
±δX	.2	.1	.1		.03	.05	.02	.04	.03	.02	.02	.06	.02
σ	8.	.7	.7		.16	.3	.08	.22	. 19	.13	.12	.32	.09
±δσ	.1	.1	.1		.02	.04	.01	.03	.02	.02	.02	.04	.01
V	55.5	57.9	60.8		19.29	23.73	8.89	18.59	23.7	14.55	11.31	08.69	05.66
±δŲ	9.1	9.7	10.4		2.58	3.23	1.16	2.48	3.23	1.92	1.48	25.73	24.52
Р	10.1	10.6	11.1		3.52	4.33	1.62	3.39	4.33	2.66	2.07	19.84	19.29
α	.7	1	.9		42	.68	-1.18	1.01	36	42	.94	.67	.56
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	5	2	4		-1.51	97	14	.16	-1.41	-1.44	.25	88	-1.1
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	123	134	148		14.88	22.53	3.16	13.82	22.46	8.47	5.12	72.55	46.52
ĸ	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

ОД-4 разкрития на мусковитови _ шисти R северозападния край на с. Орлов дол. Минералната асоциация на граната е представена от кварц, мусковит, биотит, илменит, ортоклаз (Or 100%) и апатит. Гранатовите порфиробласти са тъмнорозови до червени, прозрачни, разпределени равномерно сред вместващата скала. Размерът им варира от 1 до 7 mm (табл. 2), като от 1 до 3 mm са 26,7% от образците. При 70% от изследваните гранати кристалният хабитус е комбинации от {110} и {211}, в които доминира ромбододекаедричната форма хабитусен тип е. В 16,7 % от кристалите се наблюдава хабитусен тип с - комбинации от {110} и {211}, при които двете прости форми са развити равномерно. Само в 13.3% от образците е регистриран ромбододекаедричен хабитусен тип f. Изследваните гранати се характеризират с алмандинов състав – Alm 78,57% и високо съдържание на спесартинов компонент (Sps 11,37%).

Таблица 2

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-4 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

-												-	
пар	a	b	с	f	K1	K2	КЗ	K4	K5	К6	K7	K8	к9
Xsr	4.1	4	3.9		.98	1.03	.98	1.04	. 96	. 98	1	.05	.01
±δX	.3	.3	.3		0	0	0	Θ	0	0	θ	.01	0
σ	1.5	1.5	1.4		.02	.02	.02	.02	.03	.01	.01	.03	.01
±δσ	.2	.2	.z		0	0	0	Θ	0	0	θ	0	0
V	37.2	37.5	36.6		1.56	1.97	1.95	2.23	2.69	1.32	1.14	61.03	60.49
±δŲ	5.4	5.5	5.3		.2	.25	.25	.29	.35	. 17	. 15	10.41	10.28
P	6.8	6.8	6.7		.29	.36	.36	.41	.49	.24	.21	11.14	11.04
α	0	0	1		3	.26	26	. 39	2	19	.3	.31	.27
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	. 45	.45	.45
ß	1	1	1		83	29	55	.07	09	33	59	.04	03
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	55.5	56.2	53.7		.1	. 16	. 15	.2	.29	.07	.05	49.01	46.37
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92



Фиг. 2. Хабитусни типове, установени в изследваните гранати от метаморфните скали в района на Сакар (по Костов, 1950)

(ОД-5) – разкрития на мусковитови шисти в долината на р. Кондуздере, северно от с. Орлов дол. Гранатовите кристали са тъмночервени, непрозрачени, напукани. Минералната им асоциация е представена от мусковит, кварц. биотит. олигоклаз (An 23.42%. Ab 76.22%. Or 0.36 %), илменит, турмалин, титанит, апатит, рутил, единични кристали от кианит. Размерът им варира от 2,60 до 30,15 mm. В най-голямо количество са гранатите с размер от 3 до 10 mm - 66,7%, следвани от тези с размер над 10 mm в диаметър - 26,6% и по-рядко от 1 до 3 mm - 6,7%. С ромбододекаедричен хабитусен тип f са 76,7% от кристалите. В 23,3% от образците са регистрирани комбинации от {110} с {211}, в които доминираща форма е {110} – хабитусен тип е. Имат изометрично развит кристален хабитус с малки отклонения от идеалната форма (табл. 4.). Съставът им е алмандинов (Alm 76,57%) с високо съдържание на гросулар (Grs 14,86%).

Таблица 3

Размер, хабитусен тип, молни проценти на крайните членове на изоморфните редици и катионно отношение на изследваните гранати (абревиатурата на крайните членове е по Kretz, 1983)

	Nº	Б	рой гран	ати (в %)	c	Брой г	ранати	(в %) с	Крайни	и членове н	а изомор	фните	R ²⁺ /R ³⁺
Ē	проба	раз	личен ра	азмер (в r	nm)	разли	чен хаби	итусен		редици в	молни %		
BI							тип						
0		под	1-3	3-10	над	С	е	f	Alm	Grs	Prp	Sps	
		1			10						-		
g	ОД-2	56,7	43,3				16,7	83,3	71,20	10,48	8,00	10,32	1,761
Š	ОД-4		26,7	73,3		16,7	70,0	13,3	78,57	4,24	5,82	11,37	1,734
Чa	ОД-5		6,7	66,7	26,6		23,3	76,7	76,57	14,86	5,01	3,56	1,759
Ę	ОД-6		13,3	3,0	83,7		10,0	90,0	70,23	16,53	5,27	7,97	1,769
Ř	XC-7			13,3	86,7		10,0	90,0	69,91	16,75	5,32	8,02	1,769
	ХЯ-8			43,3	56,7	16,7	53,3	30,0	71,60	8,60	13,97	5,83	1,738
	ДМ-14			96,7	3,3	3,3	56,7	40,0	78,96	5,29	8,29	7,46	1,727
ска		10.0	06.7				20.0	00.0	70.05	0.02	10.27	C 11	1 745
ЭЙ Э	OP-9	13,3	00, <i>1</i>				20,0	80,0	13,35	9,03	10,37	0,44	1,745
Ъ	ПЛ-11а		13,3	86,7			6,7	93,3	68,64	17,73	8,80	4,83	1,785
2 C	ПЛ-12		20,0	80,0			13,3	86,7	72,67	13,95	9,46	3,93	1,760

Таблица 4

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-5 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	Ь	с	f	K1	K 2	КЗ	K4	К5	X6	K7	К8	К9
Xsr	9.7	9.5	9.3		.99	1.03	.97	1.03	. 96	. 98	.99	.04	.01
±δX	1.1	1	1		0	.01	.01	.01	.01	0	0	.01	Θ
σ	5.9	5.7	5.6		.02	.03	.03	.04	.04	.02	.02	.04	.01
±δσ	.8	.7	.7		0	0	0	0	.01	0	Θ	.01	0
v	61	60.Z	60.7		2.09	3.06	2.96	3.66	4.06	1.95	1.54	08.47	05.79
±δŲ	10.4	10.2	10.3		.27	.4	.38	.47	.53	.25	.2	25.64	24.58
P	11.1	11	11.1		. 38	.56	.54	.67	.74	.36	.28	19.8	19.31
α	1.9	1.8	1.8		-2.71	2.44	-1.97	1.88	-1.81	-2.21	-1.66	1.96	1.93
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	4.2	4	3.8		8.03	6.94	3.14	2.65	3	5.66	3.43	3.56	3.59
±δß	.9	.9	9.		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	149	44.8	47.6		.17	. 38	. 35	.54	.66	. 15	.1	70.63	47.63
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92
	1											1	I

(ОД-6) - мусковитови шисти, разкрити в мястото на вливане на р. Кондуздере в р. Соколица, северозападно от с. Орлов дол. Минералната асоциация на граната е представена от мусковит, кварц, олигоклаз (An 22,47%, Ab 76,65%, Or 0,88%), хлорит, руден минерал, титанит и турмалин. Гранатовите порфиробласти са с тъмночервен цвят, непрозрачени. Привързани са към зони, изградени основно от слюда и не се наблюдават в лещообразните кварцовите тела, вместени сред слюдата. Гранатите имат размер от 2,33 до 10,10 mm (табл. 5). От тях 13,3% с размер от 1 до 3 mm, 3,0% - от 3 до 10 mm и в преобладаващо количество 83,7 % са кристалите с размер над 10 mm. В 90,0% от образците се наблюдава ромбододекаедричен хабитусен тип f. Кристалната форма на останалите 10,0% е комбинации от {110} с {211}, като доминираща е {110} - хабитусен тип е. Имат алмандинов състав (Alm 70,23%) с високо съдържание на гросуларов компонент (Grs 16,53%).

Район на с. Хлябово

(<u>XC-7</u>) – разкрития на магнетит и гранатсъдържащи хлоритови шисти в долината на р. Явуздере, източно от с. Хлябово (местността Стената). Минералната асоциация на граната е представена от хлорит, актинолит, магнетит, кварц, албит (An 10,64%, Ab 89,26%, Or 0,10%), епидот, апатит, рутил. Непрозрачен, равномерно разпределен във вместващата скала. Има тъмночервен до кафяв цвят, частично псевдоморфозиран от хлорит. Размерът му варира от 6,33 до 50,10 mm (Табл. 6).

Таблица 5

Морфометрични характеристики на гранати от ОД-6 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

											•	'	
пар	a	b	С	f	K1	K2	КЗ	K4	К5	K6	K7	KØ	К9
Xsr	5.2	5.1	4.9	Γ	.99	1.03	.95	1.06	.94	. 98	. 98	.06	.02
±δΧ	.3	.3	.3		0	.01	.01	.01	.01	0	0	.01	0
σ	1.8	1.8	1.7		.02	.03	.04	.04	.04	.02	.02	.04	.01
±δσ	.Z	.2	.2		0	0	Θ	.01	.01	0	Θ	.01	Θ
V	34.8	34.3	35.1		2.37	2.83	3.78	3.92	4.17	1.89	2.3	73.23	71.95
±δŲ	5	4.9	5.1		.31	.37	.49	.51	.54	.24	.3	13.61	13.25
P	6.4	6.3	6.4		.43	.52	.69	.72	.76	.34	. 42	13.37	13.14
εx	.9	.8	.7		1.17	.58	49	.86	77	47	61	.93	.85
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	. 45	.45	.45
ß	1.1	1.2	1		4.49	.44	65	.25	. 14	.33	.35	.44	.3
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	48.4	47.1	49.2		.22	.32	.57	.62	.69	. 14	.21	14.53	07.04
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

Таблица 6

Морфометрични характеристики на гранати от XC-7 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

iup	ainc	mpu	nu	u	0000	unic	00 00	uoom	u 0 11	aon	10)		
пар	a	b	С	f	K1	ĸz	КЗ	K4	К5	К6	K7	K8	К9
Xsr	23.3	22.7	19.9		.97	1.1	.89	1.16	.86	.94	.96	.17	.05
±δX	1.9	1.8	1.6		.01	.01	.02	.03	.02	.01	.01	.03	.01
σ	10.2	10	9		.03	.08	.1	.15	.11	.05	.04	. 15	.04
±δσ	1.3	1.3	1.2		0	.01	.01	.02	.01	.01	.01	.02	.01
U V	43.8	44	45.1		2.96	7.41	11.37	12.78	13.16	5.17	4.65	88.28	84.26
±δŲ	6.7	6.7	6.9		. 38	. 96	1.49	1.68	1.73	.67	.6	18.23	16.92
P	8	8	8.2		.54	1.35	2.08	2.33	2.4	.94	.85	16.12	15.38
α	.5	.5	.9		3	. 15	38	.44	19	12	49	.36	.24
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	.6	.8	1.3		58	-1.61	-1.49	-1.33	-1.55	-1.62	-1.51	-1.39	-1.52
±δß	.9	9.	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	76.8	77.6	81.4		.35	2.19	5.17	6.53	6.92	1.07	.87	11.72	83.97
ĸ	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

Над 10 mm са 86,7% от кристалите. Останалата част варира от 3 до 10 mm. С ромбододекаедричен хабитусен тип *f* са 90,0% от изследваните кристали и само в 10,0% от образците са установени комбинации с {211}, в които доминираща е {110}-хабитусен тип *e*. Граната е с алмандинов състав (Alm 69,91%) и с високо съдържание на гросуларов компонент (Grs 16,75%).

(<u>ХЯ-8</u>) – разкрития на двуслюдени шисти от долината на р. Явуздере, източно от с. Хлябово. Минерална асоциация на граната: мусковит, кварц, биотит, олигоклаз (An 15,00%,

Аb 84,72%, Or 0,28%), илменит, циркон и рутил. Гранатовите кристали са с червенокафяв цвят, прозрачни, напукани. Неравномерно разпределени в слюдата или привързани към границата на лещовидните кварцови струпвания. Размерът им варира от 3,40 до 47,60 mm (табл. 7). Над 10 mm в диаметър са 56,7 % от кристалите. Останалите 43,3% са от 3 до 10 mm. При 53,3% от образците е определен хабитусен тип *e*, 30% от кристалите са с ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и в 16,7% от изследваните гранати двете прости форми {110} и {211} са развити сравнително равномерно – хабитусен тип *c*. Имат алмандинов състав (Alm 71,60%) с високо съдържание на пиропов компонент (Prp 13,97%).

Таблица 7

Морфометрични характеристики на гранати от XЯ-8 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

•													
пар	a	ь	с	f	K1	K2	КЗ	K4	K2	K6	K7	кв	к9
Xsr	13.4	13.2	13		. 98	1.02	. 98	1.02	.97	. 98	1	.03	.01
±δX	1.7	1.6	1.6		0	0	0	θ	0	0	0	0	0
σ	9.2	9	9		.01	.02	.01	.01	.02	.01	.01	.02	.01
±δσ	1.2	1.2	1.2		0	0	0	θ	0	0	0	0	0
V	68.5	68.5	68.9		1.41	1.55	1.07	1.33	1.81	1.02	.87	57.92	57.53
±δŲ	12.3	12.3	12.4		. 18	.Z	. 14	. 17	.23	.13	. 11	9.67	9.57
P	12.5	12.5	12.6		.26	.28	. 19	.24	.33	.19	. 16	10.57	10.5
α	2	2.1	2.1		96	.72	65	.55	45	66	.82	.53	.51
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	4.7	5	4.9		.83	.12	. 19	.3	0	.02	3.06	.09	.06
±δß	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	87.6	87.5	89.9		.08	.1	.05	.07	.13	.04	.03	34.18	32.37
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92
			1										

Район на с. Орешник

(<u>OP-9</u>) – разкрития на гранат-ставролитови двуслюдени шисти, югозападно от с. Орешник. Минерална асоциация на граната: мусковит, биотит, кварц, ставролит с дължина най-често до около 7 mm по оста *с*, олигоклаз (An 20,76%, Ab 78,94%, Or 0,30%), хлорит, турмалин, калцит, илменит, радиоактивен минерал.

Таблица 8

Морфометрични характеристики на гранати от OP-9 (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

пар	a	ь	с	f	K1	KZ	кз	K4	К5	K6	K7	кв	К9
Xsr	1.6	1.6	1.6		1.25	.99	.97	1.02	1.2	1.09	.98	.01	0
±δX	.1	.1	.1		.26	.03	.01	.01	.23	.1	.02	.03	.01
σ	.5	.5	.5		1.44	.16	.04	.08	1.26	.57	.09	.15	.07
±δσ	.1	.1	.1		.19	.02	0	.01	.16	.07	.01	.02	.01
v	33.1	28.6	29.6		14.65	16.58	3.94	8.06	05.32	52.34	9.39	364.2	56.86
±δŲ	4.7	4	4.1		28.2	2.2	.51	1.05	24.39	8.41	1.22	02.36	370.2
P	6	5.2	5.4		20.93	3.03	.72	1.47	19.23	9.56	1.71	49.07	96.28
α	6	0	2		5.2	-5	-1.3	-3.42	5.19	5.19	-4.68	-4.6	-4.95
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
B	.6	3	4		25.02	23.69	.47	14.83	24.99	24.99	21.55	21.24	23.43
±δB	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	43.9	32.8	35.1		25.81	10.99	.62	Z.6	43.66	09.58	3.53	41.99	91091
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92
	1		1		1								

Гранатът е с розовочервен цвят, прозрачен, ненапукан. Разпределен е сравнително равномерно във вместващите скали. Размерът му варира от 0,70 до 2,70 mm (табл. 8.) и само 13,3% от образците са под 1 mm. В 80,0 % от гранатите е установен ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и в 20,0% – хабитусен тип *e*). Компонентният им състав е преобладаващо алмандинов (Alm 73,35%) с високо съдържание на гросуларов (9,83%) и пиропов (10,37%) компонент.

Район на с. Планиново

(ПЛ-11а) – разкрития на амфиболити, югозападно от с. Планиново. Минералната асоциация на граната е представена от амфибол, кварц, битовнит (An 85,78%, Ab 14,22%), илменит, титанит, циркон, рутил, турмалин, калцит. Граната е с тъмночервен цвят, непрозрачен, сравнително равномерно разпределен във вместващата скала. Има размер от 2,33 до 4,50 mm (табл. 9). От 1 до 3 mm са 13,3% от изследваните кристали. В 93,3% от образците е установен ромбододекаедричен хабитусен тип *f* и само в 6,7% се наблюдават комбинации от {110} с {211} с доминираща {110} форма – хабитусен тип *e*. Характеризира се с алмандинов състав (68,64%) с високо съдържание на гросуларов компонент (17,73%).

Таблица 9

Морфометрични характеристики на гранати от ПЛ-11а (формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в табл 10)

· ·													
пар	a	Ъ	С	f	K1	KZ	КЗ	K4	K5	K6	K7	KB	К9
Xsr	3.6	3.5	3.3		.99	1.04	.94	1.07	.93	.97	. 98	.08	.02
±δX	.1	.1	.1		Ð	0	.01	.01	.01	0	0	.01	Ð
σ	.5	.5	.5		.02	.03	.04	.05	.04	.02	.03	.05	.02
±δσ	.1	.1	.1		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
V	13.6	14.1	15.2		1.83	2.59	4.61	4.7	4.58	1.75	2.61	65.92	62.51
±δV	1.8	1.9	2		.24	.34	.6	.61	.59	.23	.34	11.63	10.77
P	2.5	2.6	2.8		.33	.47	.84	.86	.84	.32	.48	12.03	11.41
α	4	4	3		99	.6	8	1.13	66	55	54	1	.74
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
B	0	0	Z		17	22	1.18	2.1Z	.49	19	.6	1.52	.64
±δB	.9	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN	7.4	7.9	9.2		.13	.27	.85	.88	.84	. 12	.27	173.8	56.29
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92

(ПЛ-12) – разкрития на гранат-ставролитови двуслюдени шисти, югозападно от с. Планиново. Минералната асоциация на граната е представена от кварц, биотит, мусковит, ставролит, андезин (An 33,99%, Ab 65,48%, Or 0,52%), илменит, хлорит, турмалин, апатит, единични кристали от кианит. Гранатът е тъмночервен на цвят, непрозрачен. Размерът му варира от 2,46 до 4,70 mm (табл. 10), като от 1 до 3 mm е диаметъра на 20% от изследваните кристали. В 86,7% от изследваните образци е установен ромбододекаедричен хабитусен тип *f*, а в останалите 13,3% кристалният хабитус е от тип *e* – комбинации от {110} с {211} с доминираща {110} форма. Компонентният състав на граната е алмандинов (72,67%) с високо съдържание на гросуларов компонент (Grs 13,95%).

Район на с. Дервишка могила.

(ДМ-14) – разкрития на двуслюдени шисти от вр. Дервишка могила, южно от едноименното село. Минерална асоциация на граната: биотит, кварц, мусковит, олигоклаз (определен микроскопски), хлорит, илменит, турмалин, апатит и циркон. Вместващите скали са силно нагънати. Той е с виненочервен цвят, полупрозрачен, слабо напукан. По-голямата част от изследваните гранатови кристали са силно удължени. Подредени са в ивици, чиято посока следва нагъването на вместващите скали. Размерът на граната варира от 4,56 до 11,46 mm (табл. 11), като в категорията от 3 до 10 mm попадат 96,7% от изследваните кристали. В 56,7% от кристалите е установен хабитусен тип е, представен от комбинации от {110} с {211} с доминираща {110} форма; в 40,0% от образците ромбододекаедричен хабитусен тип f и само в 3,3% от кристалите {110} и {211} са развити сравнително равномерно – хабитусен тип с. Граната е с алмандинов състав (Alm 78,96%) и с приблизително равностойно процентно съдържание на останалите крайни членове от изоморфните редици.

Таблица 10

Морфометрични характеристики на гранати от ПЛ-12

	N₽	a	b	С	f	K1	KZ	КЗ	K4	К5	K6	K7	K8	К9
Г	1	2.5	2.5	2.4	f	1	1.02	.96	1.04	.96	.99	.98	.04	.01
L	2	2.6	2.5	2.3	f	.96	1.08	.92	1.11	.88	.95	.98	.13	.04
L	3	2.7	2.5	2.4	f	.93	1.1	.96	1.08	.89	.94	1.02	.12	.04
	4	2.8	2.7	2.6	е	.96	1.06	.96	1.06	.93	.96	1	.08	.02
	5	2.8	2.8	2.7	f	1	1.02	.96	1.04	.96	. 99	. 98	.04	.01
	6	3.1	3.1	2.5	f	1	1.11	.81	1.24	.81	.93	.9	.24	.07
	?	3.1	3.1	3	f	1	1.02	.97	1.03	.97	.99	. 98	.03	.01
	8	3.2	3.1	3.1	е	.97	1.03	1	1.02	.97	. 98	1.02	.03	.01
	9	3.2	3.1	3.1	f	.97	1.03	1	1.02	.97	.98	1.02	.03	.01
	10	3.3	3.Z	3.1	f	.97	1.05	.97	1.05	.94	.97	1	.06	.02
	11	3.5	3.3	3.1	f	.94	1.09	.94	1.1	.89	.94	1	.13	.04
	12	3.4	3.4	3.4	f	1	1	1	1	1	1	1	0	0
	13	3.5	3.5	3.2	T.	1	1.04	.91	1.09	.91	.97	.96	.09	.03
	14	3.6	3.4	3.3	e	.94	1.07	.97	1.06	.92	.95	1.01	.09	.03
	15	3.6	3.5	3.5	f	.99	1.02	.99	1.02	.97	.99	1	.03	.01
	16	3.8	3.7	3.3	f	.97	1.09	.89	1.14	.87	.95	.96	.15	.05
	17	3.8	3.6	3.4	1 C	.95	1.09	.94	1.09	.89	.95	1	.11	.04
	18	3.8	3.7	3.3	T.	.96	1.09	.92	1.11	.88	.95	.98	.13	.04
	19	3.7	3.7	3.6	1	.99	1.02	.99	1.02	.97	.99	1	.03	.01
	20	3.8	3.7	3.5	ľ	.97	1.06	.95	1.07	.92	.96	.99	.08	.03
	22	3.9	3.8	3.7	1	.97	1.04	.97	1.04	.95	.97	1	.05	.02
	23	3.5	3.5	3.0	L.		1.01	. 52	1.00	. 52		. 50	.00	.03
	24	4.1	4.1	1	ľ		1.02		1.02	. 50		- 1	.02	.01
	25	4 3	4 2	1	L.		1.01	. 30	1.02	. 50			.02	.01
	26	4 4	4 4	42	Ľ	0	1 92	95	1 05	95			.07	.02
	27	4 6	4 4	4 3	F	97	1 05	97	1 05	93	97		.03	.02
	28	1.0	4 8	4 3	ĥ		1 1		1 14	. 55	94	92	16	.02
	29	5.7	5.5	5.1	f	.96	1.98	.93	1.1	.00	.95	.98	.11	.03
	30	9	8.8	8.3	f	.98	1.05	.94	1.07	.92	.97	.98	.08	.03
21	татистически характеристики на извадка № 12 по параметри													
r	nap	a	ь	с	f	K1	KZ	КЗ	K4	K5	K6	K7	K8	К9
>	(sr	3.8	3.7	3.5		.98	1.05	.95	1.07	.93	.97	.99	.08	.03
1	±δX	.2	.2	.2	L	0	.01	.01	.01	.01	0	0	.01	0
	ď	1.2	1.2	1.1	1	.02	.03	.04	.05	.04	.02	.02	.05	.02
4	Ŀδσ	.z	.1	.1		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
	V	31	31	30.7	1	2.06	2.89	4.13	4.52	4.62	1.95	2.28	64.21	60.76
1	ĿδU	4.4	4.4	4.3		.27	.37	.53	.58	.6	.25	.29	11.2	10.34
	P	5.7	5.7	5.6	1	.38	.53	.75	.82	.84	. 36	.42	11.72	11.09
	¢	2.8	2.8	2.7	1	44	.26	-1.59	1.48	66	24	-1.63	.99	.71
1	±δα	.4	.4	.4		.45	. 45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
	0		0 1			1 43	4 47	1 2 (0	1 1 1 1	1 1 1	4 42	4 25	1 4 40	1 22

Морфометрични изследвания на гранати от Сакар проба № 12

.89 .33 6.92

Адылкана, В-ширина, С-дебелина на гранатовия кристал К1=В/А-сплеснатост по Zingg, K2=2A/(B+C)-удылженост по Wentwoth K3=C/B-удылженост по Zingg, K4=(A+B)/(ZC)-слеснатост по Wentworth K5=C/A-сплеснаеот по Savessi, K6=(BC/A²)/(I/3)-серечичност по Krunbein, K7=(A+C)/(ZB)-изонетричност по Саркисян, K8=B/C4/A/B-2 - форма по Вассоевич,

.89 .68 6.92 .89 .82 6.92

 $\begin{array}{l} & K^{2-}(6^{+}C)/(2B) \mbox{-}tabulert purthed: to Capkucan, KB=K/4+/J=2 - \phiopma to DacCoebu+, KB=K/$



Фиг. 3. Морфометрия на гранати от ПЛ-12 по Zingg. Изометричните гранати са в горния десен ъгъл на диаграмата. Удължените гранати се разполагат по линията c/b=1; сплеснатите – по линията b/a=1; деформираните гранати – по линията b2=a.c; деформираноудължените и деформирано-сплеснатите са в съответните полета

Ореоли на механично разсейване на гранат

Районът е опробван с 1662 проби и при площ 535 км² се получава средна плътност 3,1 проби на км² – добър показател за шлихоминераложко картиране в М 1:25000. Проблем за настоящото изследване на разпределението на гранатовите минерализации представлява опробването само на главните реки в северозападната част на региона - в 191 проби е установен гранат. В останалата част от територията, в текста на геоложките доклади е указано за наличие на гранат в пробите, но той не е отразен в шлихоминераложките карти. Този проблем е решен чрез екстраполация на данните с двумерно Фурие моделиране (Девис, 1977).

Таблица 11

Морфометрични характеристики на гранати от ДМ-14 формулите на коефициентите и статистическите параметри на извадките са дадени в таблица 10)

пар	a	b	с	f	К1	ĸz	КЗ	K4	Ж5	К6	K7	кв	к9
Xsr	7.8	7.6	7.3		.97	1.05	.96	1.06	.94	.97	.99	.07	.02
±δX	.3	.3	.3		0	.01	.01	.01	.01	0	.01	.01	0
σ	1.5	1.5	1.5		.02	.03	.05	.06	.05	.02	.03	.06	.02
±δσ	.2	.z	.z		0	0	.01	.01	.01	0	0	.01	0
v	19.2	19.2	20.1		2.34	3.21	5.17	5.97	5.24	2.15	3.03	91.09	81.41
±δŲ	2.6	2.6	2.7		.3	.42	.67	.77	.68	.28	.39	19.18	16.03
P	3.5	3.5	3.7		.43	.59	.94	1.09	.96	.39	.55	16.63	14.86
α	.z	.3	.z.		-1.37	1.39	-2.58	3.33	-2.26	-1.36	-1.13	2.96	2.43
±δα	.4	.4	.4		.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45	.45
ß	.z	.z	.z		. 98	2.58	9.31	12.86	7.03	2.59	5.43	10.79	7.89
±δß	9.	.9	.9		.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89	.89
NN N	14.8	14.7	16.2		.22	.41	1.07	1.43	1.1	.19	.37	331.9	65.14
K	6.9	6.9	6.9		6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92	6.92
1	1	1			1							1	1

Таблица 12 Минерален състав на шлихоминераложките проби

N	Минерал	Брой	N	Минерал	Брой	N	Минерал	Брой
1	апатит	182	z	барит	175	3	бисмутит	626
4	вулфенит	1	5	галенит	19	6	гранат	191
7	злато	146	8	илменит	909	9	кианит	352
10	корунд	30	11	ксенотим	1	12	куприт	3
13	молибденит	1	14	монацит	400	15	0/1080	9
16	ортит	39	17	пироморфит	2	18	плумбоярозит	3
19	рутил	819	20	ставролит	7	21	сфалерит	1
22	титанит	258	23	титансьдьржащ	191	24	торит	419
25	хромит	34	26	церчсит	3	27	цинабарит	8
28	циркон	189	29	шеелит	928	30	шпинел	108

брой проби 1662 брой минерали



Фиг. 4. Корелация между минералите в шлихоминераложки те проби от изследвания регион

Минералният състав на пробите е представен от 30 минерала (табл. 12; фиг. 4), които са в сложни корелационни отношения (Поасонов тест, α<0,001) и групирани – признак за генетично- и пространствено обусловени минерални асоциации. Минералите ксенотим, аланит-Се, пироморфит, плумбоерозит, сфалерит, цинабарит и вулфенит са без корелати поради малкия обем на извадката.

Подредбата на минералите по честота на срещане (табл. 13) показва изобилие от шеелит - 56% от територията е перспективна за търсене на шеелитови орудявания.

Таблица 13

Статистика на минералите в шлихоминераложките проби от изследвания регион

sakar – статистика на минералите

N	Минерал	Брой	Р	±dP	NN	Nd	изученост
1	шеелит	928	.5583	.0238	37876	6	=
2	илменит	909	.5469	.0239	38061	6	
3	рутил	819	.4927	.024	38391	7	-
4	бисмутит	626	.3766	.0232	36063	11	-
5	торит	419	.2521	.0208	28961	18	-
6	монацит	400	.2406	.0205	28070	19	-
7	кианит	352	.2117	.0196	25641	22	
8	титанит	258	.1552	.0174	20142	31	-
9	гранат	191	.1149	.0153	15623	43	
10	титансъдържащ	191	.1149	.0153	15623	43	-
11	циркон	189	.1137	.0152	15480	43	-
12	апатит	182	. 1095	.015	14978	45	-
13	барит	175	.1052	.0147	14470	47	-
14	злато	146	.0878	.0136	12307	57	-
15	шпинел	108	.0649	.0118	9332	78	-
16	ортит	39	.0234	.0072	3519	223	-
17	хромит	34	.0204	.0068	3077	256	-
18	корчнд	30	.018	.0064	2722	290	-
19	галенит	19	.0114	.0051	1735	460	-
20	0/1080	9	.0054	.0035	827	975	+
21	цинабарит	8	.0048	.0033	735	1098	+
22	ставролит	7	.0042	.0031	644	1255	+
23	куприт	3	.0018	.002	276	2932	+
24	плимбоярозит	3	.0018	.002	276	2932	+
25	церчсит	3	.0018	.002	276	2932	+
26	пироморфит	2	.0012	.0016	184	4400	+
27	вчлеенит	1	.0006	.0011	92	8802	+
28	ксенотим	1	.0006	.0011	92	8802	+
29	молибденит	1	.0006	.0011	92	8802	+
30	сфалерит	1	.0006	.0011	92	8802	+

брой проби 1662 брой минерали 30

Илменит, рутил, бисмутит, торит и монацит са с повече от 25 % и предопределят минераложкия облик на региона. Кианит, титанит, гранат, циркон, апатит и барит се срещат в повече от 10 % от пробите. Останалите минерали са с вероятност за откриване по-малко от 10%.

Съдържанието на гранат в пробите варира от единични знаци до основна маса (над 90%). Разпределението е с изявен максимум около "единични знаци" и около "твърде много" (60%) – признак за наличие на разсеян гранат и гранатсъдържащи скали.

Разпределението по честота на срещане показва, че в 99 от 676 квадрата е открит гранат. Честотите на срещане са с изявен максимум около 30, 50, 75 и 100%. В случая хистограмата е лошо дефинирана, поради неопробване на притоците на главните реки.

Корелати на граната в пробите (табл. 14) са минералите: апатит, галенит, злато, корунд, монацит, титансъдържащ минерал, торит, хромит, циркон, шпинел. С изключение на галенита и златото (вероятно хидротермални продукти) останалите минерали са скалообразуващи и акцесори, показващи петрографския състав на гранатсъдържащите скали в района.

Корелацията между минералите, които са корелати на граната (фиг. 5) е спрегната (всеки срещу всеки) с изключение на връзката торит-шпинел и обособяване на две групи: злато, апатит, циркон, монацит, титансъдържащ минерал и втора група: галенит, апатит, титансъдържащ минерал, торит, шпинел, корунд, циркон и хромит. Тези групи предопределят значението на граната като индикатор за търсене (вероятно от вместващите скали) на собствено златни и полиметални находища. Таблица 14 Корелати на минерала гранат в шлихоминераложките проби от изследвания регион







Фиг. 5. Връзки между корелатите на минерала гранат в шлихоминераложките проби от изследвания регион

Изготвения Фурие модел е по данни от 99 квадрата (северозападния ъгъл на изследвания район). На фиг. 6 са представени нормалните вектори (h₁, h₂) на модела (хармоники) и техните енергии (Е %), както и анализ на остатъците от разликите между модел и данни (хистограма).



Фиг. 6. Двумерен Фурие модел на разпределението на честотите на срещане на минерала гранат

Моделът показва силна значима корелативна връзка между модел и данни (R=0,60, T=7,46>3, α <0,001); загуба на информация 5,28 пъти и приемливо нормално разпределение на остатъците от разликата между модел и данни (R=0,88, T=4,94 > 4,75, α < 0,001). Разпределението на хармониките показва слаба сходимост с максимум 10,98% за хармоника (2-2); 9,86 % за хармоника (3-2) и 7,46% за хармоника (4-2). Останалите хармоники съдържат по-малко от 7% полезен сигнал. Пълния Фурие модел (фиг. 7) показва насищане с гранат в района на Орлов дол, Хлябово и североизточно от него (интерполационни резултати) и в ивиците Тополовград – Дервишка могила, Хлябово – Дрипчево и южно (екстраполация).



Фиг. 7. Пълен Фурие модел на разпределението на минерала гранат



Фиг. 8. Най-силни хармоники в разпределението на гранат

Най-силната хармоника (2-2) и кратните й (3-3), (6-6), (4-4) и др. обхваща разпределението на 24 % от граната в територията (фиг. 8). Това са предимно североизтокюгозападни ивици най-силната, от които преминава през Хлябово, Българска поляна, Черепово и успоредно на нея през Дервишка могила. Тази система съвпада с югоизточния ръб на палеогенската депресия, северно от Хлябово, а в района на Дервишка могила съвпада с голямото амфиболитово тяло от рамката.

Напречните на тази система ивици са по-слабо изявени и са с посока северозапад – югоизток, съвпадаща с посоката на североизточния ръб на Сакарския плутон и субпаралелните на него метаморфити, както и с югозападния ръб на палеогенската депресия при с. Орлов дол.

Резултати

В резултат от химичните изследвания се установи, че гранатът принадлежи към системата алмандин – гросулар – пироп – спесартин. Липсата на андрадитов компонент определя твърдост на минерала 7-7,5 по Моос, която отговаря на критерия за използването на граната като суровина в абразивната промишленост.

Всички гранати са с преобладаващо алмандинов състав, но се различават съществено помежду си по процентното съдържание на останалите компоненти. С най- високо съдържание на алмандин са образците от районите ОД-4 и ДМ-14, на гросулар – ОД-6 и ХС-7, на пироп – ХЯ-8, на спесартин – ОД-2 и ОД-4. Наблюдаваните образци са прекрасна илюстрация за изоморфизъм между т. нар. пиралспити и уграндити (последните представени от гросулар).

Кристалният хабитус на граната от изследваните райони е представен главно от тип f и тип e (Фиг. 2). Хабитусен тип c, представляващ комбинация от сравнително равномерно развити {110} и {211} установен е само в част от гранатите от районите ОД-4, ХЯ-8 и ДМ-14. При тях катионното отношение на двувалентните към тривалентните катиони е най-ниско, а именно: 1,727 за ДМ-14, 1,734 за ОД-4 и 1,738 за ХЯ-8 (табл. 3). При изчисляване на средните радиуси на двувалентните и тривалентните катиони на изследваните гранати на базата на ефективните йонни радиуси на Shanon & Prewitt (1969) и Shanon (1976) се установи, че хабитусен тип c при граната се образува при катионно отношение под 1,740 (фиг. 9).



Фиг. 9. Зависимост на кристалния хабитус на граната от отношението на двувалентните къв тривалентните катиони

Наблюдава се известна зависимост между размера и хабитусния тип – гранатите с по-голям размер образуват по-често кристали с ромбододекаедричен хабитус. Найголеми отклонения от идеалната изометрична форма са регистрирани при граната от района на с. Дервишка могила – ДМ-14.

В разкритията на слюдени шисти от долините на реките Явуздере (ХЯ-8) и Кондуздере (ОД-5) са наблюдавани и най-големите по размер порфиробласти – съответно до 47,60 mm и до 30,15 mm.

Морфометричните изследвания показаха, че в диаграмите сплеснатост – удълженост по Zingg се обособяват пет типа гранати: удължени кристали (c/b=1); сплеснати гранати (b/a=1); деформирани гранати (b²=a.c); деформирано-удължени и деформирано-сплеснати.

Изчислените статистически характеристики на извадките от морфометричните изследвания показват преобладаващо нормално разпределение на стойностите на параметрите (асиметрията и екцеса са по-малки от 3), но показателите на точността са от порядъка на 10%, което е незадоволително. За достигане на желаната 5 процентна граница е необходимо допълнително да де измерят над 150 образеца. Независимо от това може да се приме, че резултатите са представителни за изчислените коефициенти (необходимия брой зърна за тях е по-малък от 30).

Установи се, че данните от шлихоминераложките картирания не позволяват директно да се проследи пространственото разпространение на граната в региона. Направеният Фурие модел показва множество минераложки аномалии на минерала гранат, най-голяма от които е в ивицата Хлябово – Карабаир и източно в района на долината на р. Явуздере. Най-силната хармоника във Фурие модела (2-2) маркира геоложки граници на плутона от североизточна страна и перпендикулярни ивици, найсилните от които преминават през Хлябово – Българска поляна – Черепово и успоредно на нея през Дервишка могила – Планиново. Корелатите на граната в шлихоминераложките проби са минерали от вместващите скали, злато и галенит. Ореолите на механично разсейване на минерала до голяма степен съвпадат с известните гранатови минерализации. Важен резултат е констатираното насищане на територията с проби, съдържащи шеелит (повече от 56%).

Дискусия

Гранатът от изследваните райони се различава съществено по размер, морфология и процентно съдържание на крайните членове на изоморфните му редици.

Потвърждава се зависимостта между катионното отношение в гранатите и техния хабитусен тип, установена от Костов (1950), т.е. при по-ниско катионно отношение се наблюдават по-голям брой гранати, чиято морфология е представена от комбинации от {110} и {211}.

Стойностите на измерените дължини по трите оси на симетрия от четвърти порядък G₄ (a,b,c) и изчислените морфометрични коефициенти, както и изготвените диаграми по Zingg показват отклонения от идеалната изометрична форма, което е признак за минерален растеж в анизотропна среда (c/b=1; b/a=1); деформация на кристали с идеална форма (b2=ас) и случаи на растеж, съпроводен с деформация на кристалите. При постоянни параметри на средата, формата на кристалите се подчинява на закона на Ферми – симетрията на формата на кристала е единство на вътрешната симетрия и симетрията на околната среда. В този смисъл кристали с различни отношения от c/b=1 и b/a=1 са признак за деформация на кристалите. Доколкото в частния случай b²=ас е отражение на равенство на обемите на сфера $(V_{cdepa} = \pi b^3/6)$ и обема на измерения триосен елипсоид (V_{елипсоид} = πabc/6), може да се очаква, че тези кристали са имали идеална форма след което са претърпели пластична деформация. За пластична деформация на граната са показани факти и се дискутира в Prior et all (2000); Storey & Prior (2005).

Изводи

От представените минераложки данни за гранатите от различните райони на изследване и данните от Фурие анализа на шлихоминераложкото опробване на Сакарската област може да се твърди, че интерес за абразивната промишленост представляват единствено гранатите от долината на р. Явуздере.

Потвърди се зависимостта между катионното отношение в гранатите и техния хабитусен тип, установена от Костов (1950). При изчисляване на средните радиуси на двувалентните и тривалентните катиони на изследваните гранати на базата на ефективните йонни радиуси на Shanon & Prewitt (1969) и Shanon (1976) се установи, че хабитусен тип *с*, представен от сравнително равномерно развити {110} и {211} при граната се образува при катионно отношение под 1,740. Присъствието на тетрагонтриоктаедричната проста форма е регистрирано до катионно отношение 1,785.

Изследваните гранати са полигенни – деформирани реликти от регионалния метаморфизъм на скалите в района, деформирани в процеса на израстване и кристали израстнали в стационарен режим на анизотропно поле.

Благодарности. Настоящото изследване беше възможно да се реализира благодарение на професионалната и безкористна помощ на доц. д-р Р. И. Костов, ст.н.с. д-р Н. Зидаров и Н. Господинов. Финансирането на опробването и обработката на пробите е извършено по проект на SE Europe Geoscience Foundation.

Литература

Бончев, Г. 1923. Минералите в България. – Год. СУ, Физ.мат. фак., 1, 144-150.

- Бончев, Е. 1971. *Проблеми на българската геотектоника*. С., Техника, 204 с.
- Витов, О. 1992. Методика за съставяне на шлихоминераложки прогнозни карти. – Год. Минногеол. унив., 38, 1, 159-171.
- Витов, О. 1995. Шлихоминераложка карта на България (проект). – *Геология и минерални ресурси*, 4, 6-11.
- Витов, О. 2001. Шлихоминераложка изученост на България. *Геология и минерални ресурси*, 9, 19-22.
- Девис, Дж. 1977. Статистика и анализ геологических данных. М., Мир, 576 с.
- Иванов, Ж., Я. Герджиков, А. Кунов. 2001. Нови данни и съображения за строежа и тектонската еволюция на Сакарската област. Год. Соф. унив., Геол.-геогр. фак., 1, 91, 35-80.
- Иванов, И. Т. 1965. Върху минералния и химичния състав на някои ксенолити в Сакарския гранит. – Сп. Бълг. геол. д-во, 26, 1, 80-88.
- Кожухаров, Д. 1991. Константиновская метаконгломератовая свита в Сакар планине и Марицской зоне между Симеоновградом и Димитровградом, Хасковская област. – *Geologica Balc.*, 21, 4, 73-81.
- Кожухаров, Д., Ив. Боянов, Е. Кожухарова, А. Горанов, С. Савов, Г. Шиляфов. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Свиленград. С., Аверс, 67 с.
- Кожухаров, Д., С. Савов, Г. Чаталов, Е. Кожухарова, И. Боянов, Е. Челебиев. 1994. Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Тополовград. С., Болид, 73 с.
- Кожухарова, Е., Д. Кожухаров. 1973. Стратиграфия и петрология на докамбрийските метаморфни скали от Сакар планина. – Изв. Геол. инст., сер. Геохим., минерал. петрогр., 22, 193-213.
- Кожухарова, Е., Д. Кожухаров. 1974. Докамбрийски метаморфозирани дайкови магматити от Димитровградско и южните склонове на Сакар планина. – В: *Минерогенезис.* С., БАН, 379-386.

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

- Костов, И. 1950. Бележки върху морфологията на гранатовите кристали. Год. Соф. унив., Прир.-мат. фак., 46, 3, 329-338.
- Костов, И. 1958. Генезис дистена из кварцевых жил. Минер. сб. Львов. геол. общ., 262-269.
- Костов, И., В. Бресковска, Й. Минчева-Стефанова, Г. Н. Киров. 1964. *Минералите в България*. С., БАН, 540 с.
- Кръстев, Кр., О. Витов. 1983. Морфометрични изследвания на самородни алувиални златинки с помощта на ЕИМ. – Год. МГУ, 30, 2, 215-222.
- Николов, Н. 1936. Химико-минералогически изследвания на някои гранати в България. – Год. Соф. унив., Физ.мат. фак., 32, 3, 51-65.
- Скендеров, Г., И. Пальшин, Я. Михайлов, И. Божков, Л. Савова. 1986. О возрасте Сакарского гранитного плутона (Юго-Восточное Среднегорье). – *Геохим. минерал. петрол.*, 22, 69-80.
- Чаталов, Г. 1990. Геология на Странджанската зона в България. С., БАН, 263 с.
- Gerdjikov, I. 2004. Microstructures of garnet-bearing rocks from the NE margin of the Sakar pluton (SE Bulgaria) – indicators for strain and fluid enhanced porphyroblast growth. – Минерогенезис – 2004, Резюмета, Унив. изд. "Св. Климент Охридски", 69-70.
- Kretz, R. 1983. Symbols for rock-forming minerals. Amer. Mineral., 68, 277-279.
- Prior, D., J. Wheeler, F. Brenker, B. Harte, M. Matthews. 2000. Crystal plasticity of natural garnet: New microstructural evidence. – *Geology*, 28, 11, 1003-1006.
- Shanon, R. 1976. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. – Acta Cryst., A32, 751-767.
- Shanon, R., C. Prewitt. 1969. Effective ionic radii in oxides and fluorides. Acta Cryst., B25, 925-945.
- Storey, C. D., D. J. Prior. 2005. Plastic deformation and recrystallization of garnet: a mechanism to facilitate diffusion creep. – *Journal of petrology*, 46, 12, 2593-2613.
- Vitov, O. 1992. AURUM Collecting and processing morphometric data for mineral grains. – In: *The IMA Catalogue of Software for Mineralogists*. IMA (WGDCA), p. 109.

АРХЕОМЕТАЛУРГИЧНИ ПРОУЧВАНИЯ В РАЙОНА НА С. ВЪЛЧЕ ПОЛЕ, ХАСКОВСКО

Здравко Цинцов¹, Христо Попов², Бануш Банушев³

¹ Централна лаборатория по минералогия и кристалография "Акад. Иван Костов", БАН, София 1113; ztsintsov@mail.bg

² Археологически институт с музей, БАН, София 1000; popovhristo@yahoo.co.uk

³ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; banushev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. През 2005 г. стартира програма за проучване на следите от древно рударство и металургия в района на рида Гората от Източните Родопи. Основни проблеми, които ще бъдат изяснявани в дългосрочен план са тези относно: i) Хронологията на рударството и металургията в района (основни периоди и техните особености); ii) Видовете металургия (цветна и/или черна); iii) Особености на технологичния процес, които могат да бъдат регистрирани за различните периоди. По време на интердисциплинарни археометалургични проучвания в района на с. Вълче поле, Хасковско бе установено, че през желязната епоха (X-I в. пр. Хр.) в тези земи древни рудари са добивали желязна руда като на място са извършвали металургичната й преработка. За това свидетелства голямото количество шлака, намерена в непосредствена близост с металургична пещ и разсипите от региона. За тази цел са били използвани разсипни железоносни късове, намиращи се в голямо количество в алувиалните седименти от региона. Рудните минерализации в тях основно са представени от Fe оксиди/хидроксиди, включващи магнетит, хематит, магхемит, гьотит и много малко количество сулфиди. Първите два минерала имат разменени доминиращи количествени отношения и определят външния облик и особености на отделните образци.

ARCHAEOMETALLURGICAL INVESTIGATION IN THE REGION OF VULCHE POLE VILLAGE, HASKOVO DISTRICT Zdravko Tsintsov¹, Hristo Popov², Banush Banushev³

¹Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography "Acad. Ivan Kostov", BAS, Sofia 1113; ztsintsov@mail.bg ²Archaeological Institute with Museum, BAS, Sofia 1000; popovhristo@yahoo.co.uk ³University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; banushev@mgu.bg

ABSTRACT. During 2005 a program started for investigation of the traces of ancient ore processing and metallurgy in the region of Gorata ridge in Eastern Rhodopes. Major problems to be clarified in a longer time period are those concerned with: i) Chronology of the ore mining and metallurgy in the region (main periods and their specificity); ii) Types of metallurgy (ferrous and/or non-ferrous); iii) Features of the technological process, which can be registered for the different periods. During interdisciplinary archaeometallurgical studies in the region of Vulche pole village, Haskovo district, it has been established that during the Iron epoch (X-I century B. C.) in these places ancient miners have mined iron ore and have performed metallurgical processing on the same places. Witness for that is the great amount of slag, found very close to a metallurgical furnace as well as in the placers in the region. For this purpose there were used placer iron-bearing pieces present in great quantity in the alluvial sediments of the region. The ore mineralization in them is mainly represented by Fe oxides/hydroxides including magnetite, hematite, maghemite, goethite and small amounts of sulfides. The first two minerals display reversed dominating quantitative relations and determine the outlook and the features of the separate samples.

Въведение

Процесите свързани с рудодобива и металургията по българските земи в древността винаги са провокирали повишен интерес на специалистите от различни области на науката поради голямото им социално значение за времето, през което са развивани и изключително високото ниво на практически познания, притежавани от местното население относно търсенето, проучването и разработването на находищата на метали и технологиите за тяхната преработка. Ограничените изследвания в тази насока у нас са причина за липсата на прегледна и достоверно събрана информация за историята на рудодобива и металургията по нашите земи и през последните няколко десетки години бележи само един начален етап на обогатяване и систематизиране на научното ни познание в тази област (Марков, 2003). С оглед попълването на тази информация и регистрирането на непознати до момента археологически обекти, през 2004 г. на територията на община Любимец бяха

проведени интензивни теренни обхождания. Първоначалните резултати показаха, че в землищата на някои села (Вълче поле. Малко Градище. Лозен) се откриват следи от древни рударство и металодобив. През 2005 г. в района на с. Вълче поле започнаха сондажни археологически проучвания, които в дългосрочен план имат за цел да изяснят характеристиките на обитаването и поминъка в източните части на рида Гората през късната бронзова, желязната и римската епохи (хронологическа рамка XVI в. пр. Хр. – VI в.). В кръга от проблеми, които са основен обект на изследванията, допълнително бяха формулирани и такива като: і) Хронология на рударството и металургията в района, ii) Видове металургия (черна и/или цветна), ііі) Особености на технологичния процес. които могат да бъдат констатирани за различни исторически периоди. Заедно със сондажните археологически проучвания беше разработена и дългосрочна програма за проучване на следите от древно рударство и металургия.
Цялата програма, стартирала с разкопките през август 2005 г. в м. Куш кая в землището на с. Вълче поле на този етап се финансира от Археологическия институт с музей – БАН. Близо до м. Куш кая в рамките на същия дял от Източните Родопи се намират епонимни обекти като Шейновец, Кован кая, Глухите камъни, Света Марина, Ефрем и др.

В рамките на настоящото археометалургично проучване бяха проведени търсещи геоложки работи с опробване и лабораторно изследване на рудните минерализации, коренните скали, хидротермално променените зони в тях и разсипите в м. м. Куш кая, Кован кая, Дядо Вангельовата нива, Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана, разположени в землището на с. Вълче поле (Хасковско). Проведеното интердисциплинарно изследване позволи да бъдат регистрирани следи от активен железодобив и металургия в м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана и да се локализира потенциално най-вероятната суровина, използвана за тази цел. Освен това в проучения район беше намерено обилно количество отпадна шлака от древна металургия, резултатите от изследването на която са предмет на разглеждане в друга студия.

Целта на предлаганата работа е да представи предварителни данни за разсипната железорудна минерализация от м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана, разглеждана като най-вероятна суровина за производството на желязо през късната желязна епоха или от периода на римската античност.

Археологически предпоставки

Обект Куш кая, с площ над 25 дка е разположен на възвишение с формата на пресечен конус, върху чиито високи части се открояват два големи обелисковидни скални блока. Бил е обитаван през сравнително дълги периоди от време, като най-силен интензитет на обитаването може да бъде установен за късната бронзова (XVI – XII в. пр. Хр.) и ранната желязна епохи (X-VI в. пр. Хр.). Неговото интерпретиране като укрепено селище, на този етап от проучванията изглежда най-правдоподобно и съответства на труднодостъпното му местоположение. През изминалия археологически сезон бяха разкрити две жилища от късната бронзова и ранната желязна епоха и една укрепителна стена, обхващаща Куш кая от запад. На места дебелината на проучените културни пластове достига 1.40 m, което свидетелства за продължително обитаване. Една от основните цели при проучването на Куш кая бе проверка на направените през 2004 г. констатации за наличието на следи от рударска дейност, базирани върху намирането на: і) фрагменти от хромели; іі) водосъбирателни вани изсечени в здрави ненарушени скали от корито на р. Селска, дренираща водите от и около възвишението; iii) орудявания на коренните скали и пр.

В северната периферия на с. Вълче поле, в м. Дядо Вангельовата нива бе предприета друга теренна интервенция в участък с регистрирани през 2004/2005 г. следи от железодобив. Предварителните теренни геофизични изследвания с помощта на спектрален магнитометър регистрираха две ясно изразени аномалии.

В рамките на два малки археологически сондажа с размери 3.0x3.0 m бяха разкрити разрушените останки от металургична пещ и купчина отпадъчна шлака, натрупана пред нея. Основата на пещта е с размери 0.80-0.90 m и овална форма. Във височина вероятно е била не по-висока от 1 m, като едната й стена е била вкопана в склона и е имала форма на пресечен конус. Пещта е използвана в рамките най-много на 1 сезон. При нейното проучване не бяха открити сигурни хронологически репери, които да позволят точното Й датиране. С оглед на непосредствената й близост до основни археологически обекти в околностите (билото над пешта, с разсипи от жилища от римската епоха. подстъпите към м. м. Куш кая и Селището) може да се предположи, че пещта е от късната желязна епоха (V-I в. пр. Хр.) или от периода на римската античност (I-IV в.). Прецизирането на тази датировка може да бъде направено през следващите археологически сезони.

В края на миналия и началото на настоящия век при ревизионни геоложки работи в съседен на разглеждания от нас участък с площ над 30 km² (в околностите на с. Камилски дол), геолози попаднаха на минни изработки и шлака от древни рудодобив и металургия. Опитите им да определят добивания метал не завършиха с категоричен и еднозначен отговор в резултат на което и в съответствие със съвременните металогенни схващания за района те заключиха, че древния металодобив е бил предназначен за злато (Nakov et al., 2001).

Материал и методи на изследване

Изследвани са железорудни минерализации развити в разсипни късове, установени в алувиални седименти от м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана и дрениращата ги р. Кутела, разположени в южната част на землището на с. Вълче поле. Изследванията в проходяща и отразена светлина са извършени съответно с микроскопи Amplival и Leitz Orthoplan-Pol. Рентгеноструктурните изследвания (XRD-анализи) са реализирани чрез прахов дифрактометър ДРОН-3М при спазване на следния режим: СоКа лъчение, 40 kV, 28 mA. Чувствителност на метода 3 wt. %. Химичните анализи са извършени по метода на атомно емисионната спектроскопия с индуктивно свързана плазма (AES ICP), с апарат SPECTRO Analytical instruments (Germany).

Геоложки бележки

Районът на с. Вълче поле се намира в най-източната част на Източните Родопи и попада в границите на Бряговско-Вълчеполското понижение (Боянов и др., 1963), запълнено от скалите на "задругата на Вълчеполската моласа". Те са представени от слабо до добре споени седиментни скали (конгломерати, пясъчници, глини, алевролити), кисели туфи, въглищни шисти и въглища (Минчев и Ескенази, 1965; Boyanov and Goranov, 2001). Проблемите свързани с възрастта, петрографския състав, обстановката на формиране и пространствено-времевите съотношения на скалите от "Вълчеполската моласа" продължават да са дискусионни (Harkovska et al., 2005). Тези проблеми са извън предмета на настоящото изследване, поради което няма да се спираме подробно на тях. Необходимо е да се отбележи обаче, че в археологически аспект освен суровината преработвана от древните рудари, интерес представляват и въглищата, като потенциален енергиен източник за металургични цели. Те са представени от четири пласта с дебелина от 1 до 2.60 m и по степен на въглефикация са преход между меките и твърдите кафяви. с калоричен ефект за сухо гориво 3670 kkal kg⁻¹ и имат високо пепелно съдържание (Минчев и Ескенази, 1965). С тези показатели въглишата от различните участъци на проявление "Вълче поле" представляват ниско- до среднокачествен източник на топлинна енергия. През миналия век местни жители са разработвали отделни въглищни участъци за битови нужди, като за целта на един от тях са прокарали минна изработка с дължина около 100 m. Независимо от това обаче, проявлението като цяло е категоризирано като неперспективно и няма практическо значение (Кожухаров и др., 1995). Характерна особеност на тези въглища е необичайно високите съдържания на Ge, U и Sb в тях, които надхвърлят Кларковите стойности от 100 до 4000 пъти (Vassilev et al., 1995). До момента няма данни, че въглищата са били обект на промишлен интерес в древността, но тази възможност не трябва да се изключва напълно.

Нашите изследвания показват, че районът на с. Вълче поле основно е изграден от едрозърнести полимиктови пясъчници и гравийни конгломерати. Пясъчниците са светлосиви. светложълти до бежови с петнисто жълтеникаво до ръждивокафяво оцветяване от Feхидроксиди. Кластичният компонент е предимно от кварц, в по-малка степен от К-фелдшпат, плагиоклаз и литити от кисели по състав вулканити (фенориолити) и редки късове от метаморфити (кварцити и гнайси). Циментът е глинест от поров и контактно-поров тип. Макроскопски гравийните конгломерати са бежови или жълтеникави с червеникаво оцветяване от Fe-хидроксиди. За разлика от пясъчниците, кластичният компонент в конгломератите основно включва литити, в по-малка степен кварц и фелдшпати. Лититите са представени от неравномерно разпределени разнообразни скални късове – предимно вулканити (фелзитови, сферолитови и ивичести фенориолити) и метаморфити (кварцити и гнайси) с матрикс от по-дребнокъсов материал със същия характер и глинест цимент. В изследваните седиментни скали, преходите между различните разновидности са трудно установими и само в отделни участъци се наблюдават слабо изразени такива между тях (от едрозърнести пясъчници до гравелити и гравийни конгломерати) или следи от хидротермална дейност. В последния случай скалите интензивно са окварцени и оцветени в розови, кафяви или червени тонове. обусловени от различната концентрация на Fe-хидроксиди. Шлихово-минераложкото изследване на тези седименти показа, че те са много бедни на тежка фракция (<30 g/m³), а магнитния компонент в тях практически отсъства. Проведеното опробване не потвърди становището на местни жители, че в средата на миналия век разсипите, формирани от теригенния материал на тези скали са разработвани за добив на злато. Такова изобщо не беше установено, а главния минерал в тежката фракция от тях е алмандин.

На югоизток от с. Вълче поле, под стената на местния микроязовир се намират м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана които се дренират от реките Деведеренска и Кутела. Участъкът е разположен в ЮИ част на Бряговско-Вълчеполската грабен-синклинала и е покрит от кватернерни делувиално-алувиални отложения. Силно е затревен и залесен с ниска растителност, като единствените участъци достъпни за пряко теренно геоложко наблюдение са недълбоките дерета оформени от слабо развитата речна мрежа. В тези участъци разреза е изграден от средно- до дребнокъсови, сравнително добре заоблени валуни и гравий, представени основно от кварц и вулканити (риолити), в по-малка степен от шисти, пясъчници и железоносни късове. Псамитната фракция в реките преобладаващо е дребно- до среднозърнеста с много ниско съдържание на глинест компонент.

Металогения

В металогенно отношение изследвания район попада в границите на Източнородопската металогенна зона, която се характеризира основно с Pb-Zn специализация, а през последните години бе доказано, че има сериозен потенциал и по отношение на Au, като освен полиметалнозлатни, в границите на зоната бяха установени и собствено златни проявления и находища (Бресковска и Гергелчев, 1988_{а-в}; Nakov et al., 2001). Районът около с. Вълче поле в радиус около 12-15 km се отличава с развитието на три рудни полета – Лозенско (Pb-Zn), Маджаровско (Pb-Zn-Au) и Камилдолско (Au), всяко с по няколко рудопроявления или находиша (фиг. 1). Освен тях в долната серия на Родопския комплекс в близост до изследвания район около селата Камилски дол, Хухла и Ламбух са установени и прояви на железоносни кварцити (Кожухаров и др., 1988). Минералният състав на последните е сравнително еднообразен, като скалообразуващите минерали в тях са доминирани от кварц, а рудните са представени от магнетит и хематит, на места с включения от пирит, пиротин и по-рядко халкопирит (Канурков, 1988). Хематитът дава общия облик на орудяването. Образува фини люспи, групирани в ивици или гнезда с хипидиоморфни или алотриоморфни индивиди. Силно е мушкетовизиран. Според Кожухаров и др. (1988) железоносните кварцити от Източните Родопи са бедни на желязо и не представляват практически интерес. Същите автори застъпват тезата, че кварцитите не притежават промишлен потенциал и по отношение на златото, тъй като само отделни проби показват минимални съдържания на този метал.

Нашите изследвания сочат, че рудните минерализации в изследваните местности от землището на с. Вълче поле основно са представени от Fe оксиди/хидроксиди, включващи магнетит, хематит, магхемит, гьотит и др. Особено впечатляваща е изключително богатата железорудна минерализация установена в част от разсипните късове, изграждащи седиментите на м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана и р. Кутела. Рудните късове са с големина от 2-3 ст (вероятно има и по-дребна фракция, но за доказването й са необходими специализирани изследвания) до 25 cm. Имат силно загладени ръбове и върхове и добре шлифовани повърхности, получени по време на екзогенния им транспорт. Тези морфоложки особености показват, че независимо от сравнително големите размери на част от рудните късове и високото им относително тегло те са претърпели известен механичен транспорт. Количеството им в наслагите най-грубо се оценява в границите от 30 до 150 kg/m³, а в някои участъци вероятно е и много повисоко. Химичните анализи показват, че в отделни образци общото съдържание на Fe достига до 65%, а в преобладаваща част от тях то е над 40% (табл. 1). За сравнение, в съвременните собствено железорудни находища в България този показател е в границите от 30.4 до 43.5%, като горната граница е пределна и трудно се реализира, макар че в миналото някои богати находища са достигали и до 50% Fe (Милев и др., 1996). Специфична особеност на тази минерализация се изразява в това, че е развита в металогенна зона, разглеждана от съвременна гледна точка основно с Pb-Zn и отчасти Аu специализация.



Фиг. 1. Геоложка карта на района около с. Вълче поле с рудни полета и отделни рудопроявления или находища в границите на Източнородопската металогенна зона. Рудни полета: I – Лозен; II – Маджарово; III – Камилски дол. Рудопроявления или находища: 1 – Света Марина; 2 – Централен участък; 3 – Соук бунар; 4 – Ламбух; 5 – Язовира (по Геоложка карта на България М 1:500000, 1989 и Nakov et al., 2001)

В изследваните участъци от района на с. Вълче поле от останалите потенциално перспективни полезни компоненти, които биха могли да представляват интерес за древните рудари, допълнително внимание заслужават Au, Cu, Pb и Zn. Най-високите съдържания на тези метали в изследваните от нас проби (включително и такива от хидротермалните зони) достигат съответно (ppm): 0.03; 516; 531 и 362. Сравнени с данните за съвременните находища в България, разработвани икономически рентабилно показват, че съдържанията на съответните полезни компоненти в последните имат значително повисоки стойности (Милев и др., 1996) от тези в нашите проби, което автоматично изключва тези метали като промишлено интересни за древните рудари.

Очевидно, от гледна точка на древния металодобив за района на с. Вълче поле най-голям интерес са представлявали разсипните железоносни късове, изграждащи седиментите в м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана и р. Кутела. В подкрепа на това становище е и факта, че през разглеждания исторически период такъв генетичен тип находища са били най-достъпни и удобни за разработване. Освен това, разсипните железоносни късове макар и с относително голяма твърдост са много крехки и сравнително лесно се подават на разтрошаване и смилане на съвсем дребни фракции. Това физическо качество на суровината в древността е било изключително важно и е позволявало на тогавашните рудари да осъществят предметалургичната й подготовка със сравнително прости оръдия на труда.

Външният облик на разсипните железоносни късове (фиг. 2 а-в) се определя от доминиращата позиция на един от двата основни рудни минерала. Цветът им варира в сравнително тесни граници и се променя от червен с различни нюанси (образци доминирани от хематит) до почти черен (образци доминирани от магнетит). Имат масивен изглед, много високо относително тегло и различна степен на магнитни свойства.

Таблица 1

Представителни химични анализи на разсипни железоносни късове от седименти в м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана и р. Кутела

Nº		Оксиди, wt. %										Елемен	ти,		
												wt. % ppm			
	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO3	SiO ₂	TiO ₂	Fe	Cu	Pb	Zn
I-1	0.59	1.02	68.74	0.07	0.26	0.12	0.22	0.05	0.61	25.21	0.02	48	516	171	344
I-2	0.62	1.49	91.43	0.04	0.23	0.09	0.21	0.05	0.74	3.16	0.02	64	486	531	362
2-1	0.47	1.40	40.05	0.07	0.26	0.07	0.23	0.03	0.63	56.02	0.02	28	205	74	234
2-2	0.77	1.21	38.86	0.08	0.29	0.06	0.25	<0.03	0.82	57.02	0.03	27	366	103	224
8	0.59	1.04	51.04	0.09	0.23	0.13	0.60	0.05	0.78	44.49	0.02	36	300	169	263
9	0.64	1.05	92.41	0.07	0.22	0.06	0.21	<0.03	0.90	2.47	0.02	65	288	307	324

Забележка: Fe=Fe2+ + Fe3+



Фиг. 2. Морфоложки особености на разсипни магнетитови (а, б) и магнетит-хематитови (в) късове; следи от древен разсипен железодобив, запазени в границите на древния рудник (г, д). Материалите са от м. м. Гайдата и Кутела в землището на с. Вълче поле; маркер – 4 cm

Микроскопските изследвания и данните от XRD-анализи показват, че късовете имат сравнително еднообразен минерален състав, който включва основно магнетит и хематит, по-рядко магхемит и гьотит и много рядко пирит и пиротин, а от нерудните – главно (или само) кварц и много рядко малки количества калцит. Отделни късове са изградени изцяло от магнетит и магхемит, със или без хематит. Характеризират се с масивна текстура и идиоморфнозърнеста, хипидиоморфнозърнеста, а по-рядко и корозионна структура. Единичните рудни зърна са представени от кристали, дебели плочки, игли или влакна, най-често мобилизирани в по-големи агрегати. Наличните данни до момента показват, че магнетита и хематита са представени от 2 генерации, вероятно формирани в магматични и хидротермални условия. При зърната от първата генерация са развити процеси на окисление, корозия и частична псевдоморфоза на хематит по магнетит. Втората, по-слабо разпространена генерация рудни минерали са отложени по пукнатини и каверни, често примесени с едновременно образуван с тях кварц. Тези ендогенни рудообразувателни процеси са протекли в условия с повишена фугитивност на О и много ниска концентрация на S йони. По-късно, в екзогенни условия късовете са дезинтегрирани и механично транспортирани в разсипа, като едновременно с това е настъпила фазова трансформация на част от магнетита до магхемит и хематит, а на сулфидите – до гьотит.

На този етап на търсещи работи не е открито коренното проявление, подхранило изследваните седименти с богата рудна минерализация. Последната е установена в седименти изграждащи почти цялата територия на м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела, Шафрана и р. Кутела, които имат площ над 50 дка. Допускаме, че коренното проявление е било в непосредствена близост с посочените местности, но по-късните екзогенни процеси, формирали Бряговското понижение напълно са заличили следите от него по земната повърхност. В границите, заключени между р. Кутела и СИ край на посочените местности е бил разкрит и древния железодобивен рудник където все още личат следите от мащабни добивни работи - многобройни купчини от преобладаващо кварцови валуни и чакъл, разположени на площ над 10 дка (фиг. 2 г, д). В тези купчини не се установяват железоносни късове. докато в неотработените участъци съдържанието им е голямо. Тези особености сочат за ръчна отборка на разсипните железоносни късове и продължителна експлоатация на различните участъци от древния рудник, но не е известно каква част от него е отработена. Много е вероятно разсипът, обогатен на рудни късове да предизвика промишлен интерес и в наши дни, но за изясняването на тези въпроси е необходимо провеждане на проучвателни и оценъчни работи. Според някои специалисти (устно съобщение на д-р Г. Канурков) изследваните рудни късове имат скарнов ипи хидротермален протогенезис, докато нашето становище е, че сред тях има образци, минералният състав на които дава основание да се разглеждат като железоносни кварцити. Изясняването на всичките тези въпроси предстои да се реши при бъдещите изследвания.

Изводи

От проведеното интердисциплинарно археометалургично изследване се обвързаха данни от древен рудодобив и металургия със съвременна геоложка ситуация, като получените резултати са обнадеждаващи за такъв тип изследвания и дават основание да се направят някои съществени изводи за конкретния случай:

 Металургичната дейност през късната желязна епоха или от периода на римската античност в района на с. Вълче поле най-вероятно е имала за цел добив на желязо;

2. Основната суровина, използвана за тази цел са били разсипните железоносни късове (съдържание на Fe над 40 %), добивани от седименти в м. м. Кара Кольовия бунар, Гайдата, Кутела и Шафрана и р. Кутела, където все още са запазени следи от древния рудник;

3. На този етап на изследване няма данни (геоложки) в проучения район да е добиван друг метал;

4. Много е вероятно в древността преобладаващо хематитовите железоносни късове допълнително да са били използвани за производството на пигменти;

5. Целесъобразно е да се проведе системно геоложко проучване на местностите, обогатени с рудни късове, с цел да се потърси коренното проявление и да се изясни тяхното промишлено значение от съвременна гледна точка.

6. При определяне на древния металодобив не трябва да се изхожда само от съвременните металогенни схващания за региона, а внимателно да се изучат всички рудни минерализации в него и особено тези в разсипите, като получените данни се съпоставят с резултатите от изследването на шлаката.

Конкретното проучване в тази част на Източните Родопи предстои да бъде направено през следващите археологически сезони. Най-добри перспективи за продължаване на археометалургичните изследвания се очертават южно от с. Вълче поле, в посока към землището на с. Камилски дол.

Благодарности. Авторите изказват сърдечна благодарност на д-р Г. Канурков и Ш. и Г. Шидереви за съдействието.

Литература

- Боянов, Ив., Б. Маврудчиев, Ив. Вапцаров. 1963. Върху структурно-формационните особености на част от Източните Родопи. – Изв. Геол. и-т, БАН, 12.
- Бресковска, В., В. Гергелчев. 1988а. Маджаровско рудно поле. – В: Оловно-цинковите находища в България (ред. Димитров, Р.), С., Техника, 114-127.
- Бресковска, В., В. Гергелчев. 1988. Лозенско рудно поле. В: Оловно-цинковите находища в България (ред. Димитров, Р.), С., Техника, 127-134.
- Бресковска, В., В. Гергелчев. 1988_в. Находище Света Марина. – В: Оловно-цинковите находища в България (ред. Димитров, Р.), С., Техника, 134-137.
- Канурков, Г. 1988. *Железорудните находища в България*. С., Техника, 282 с.
- Кожухаров, Д., Г. Канурков, Е. Кожухарова. 1988. Железоносни кварцити в докамбрия от Родопския масив. – Год. Комитет геол., 27, 19-39.
- Кожухаров, Д., Ив. Боянов, Е. Кожухарова, А. Горанов, С. Савов, Г. Шиляфов. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България М 1:100000, к.л. Свиленград, 67 с.
- Марков, Н. 2003. Извори за историята на рударството и металургията по българските земи. Т. 1. С., Изд. Къща ALEA, 139 с.
- Милев, В., Вл. Станев, В. Иванов. 1996. Статистически справочник на добитите руди в България през периода 1878-1995. С., Земя 93, 196 с.
- Минчев, Д., Гр. Ескенази. 1965. Германий и други елементи-примеси във въглищата от Вълчеполското находище – Източни Родопи. – Год. СУ, Геол.-геогр. фак., кн. 1, геол., 59, 357-372.
- Boyanov, I., A. Goranov. 2001. Late Alpine (Paleogene) superimposed depressions in parts of Southeast Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 31, 3-4, 3-36.
- Harkovska, A., K. Stoykova, Z. Milakovska. 2005. "Vulche pole molasse" (Eastern Rhodopes) – facts and problems. - In: Proceedings of Anniversary International Scientific Conference "80th Years Bulgarian Geological Society", 17-18 November 2005, 11-13.
- Nakov, R., T. Kerestedjian, A. Kunov, V. Arnaudov, B. Amov. 2001. New data for a Paleogene epithermal origin of the gold mineralization in Kamilski dol area, Eastern Rhodopes, Bulgaria. – *Rev. Bulg. Geol. Society, 62*, 1-3, 55-64.
- Vassilev, S., Gr. Eskenazy, M. Tarassov, V. Dimov. 1995. Mineralogy and geochemistry of a vitrian lens with unique trace element content from the Vulche pole deposit, Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 25, 111-124.

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

FACIAL CHARACTERISTICS OF THE ROMAN FORMATION (APTIAN) - AN EXAMPLE OF ONE SECTION NEAR MEZDRA, WESTERN FOREBALCAN

George Ajdanlijsky¹, Alexander Zdravkov¹, Jordan Koertenski¹, Doris Reischenbacher²

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

² Institut für Goewissenschaften, Montanuniversität Leoben, Leoben A-8700, Austria

ABSTRACT. A detail lithofacial section of part of the Roman Formation (Aptian) western of Mezdra Railway Station was developed. Medium-grained sandstones with planar, low-angle cross-bedded and massive structure dominated. Relatively thin beds and lenses of hiporocks, argillaceous and marls are also observed. Levels with gypsum as well as solitary thin coal-seams are detected.

Sedimentary cycles with thickness from 1.7 to over 4 m are established in the section. The bottom of the cycles is marked by erosional and synsedimentary deformation structure, intra- and extraclasts, predominantly vertical bioturbations and coursing of the rock's texture. The middle parts of the cycles contain fine- to very finegrained rocks mainly with planar structure. The bioturbations, as far as are presented here, are predominantly horizontal. Towards the top of the cycles, together with the relatively coursing of the rocks development of paleosol features is established, whereas and some level with gypsum are determined.

To the purpose of the facial interpretation specialized mineralogical, petrographical and geochemical studies of samples from the coal-seams are conducted.

Conclusions about the conditions and the processes of sedimentation during the forming of the rocks of the Roman Formation in this area are done, including the main direction of sedimentary paleotransport, paleolandscape and paleoclimat characteristic.

ФАЦИАЛНИ ОСОБЕНОСТИ НА РОМАНСКАТА СВИТА (АПТ) НА ПРИМЕРА НА ЕДИН РАЗРЕЗ КРАЙ МЕЗДРА, ЗАПАДЕН ПРЕДБАЛКАН

Георги Айданлийски¹, Александър Здравков¹, Йордан Кортенски¹, Дорис Рейшенбахер²

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

² Геоложки институт, Минен университет Леобен, Леобен А-8700, Австрия

РЕЗЮМЕ. Разработен е детайлен литофациален разрез на част от Романската свита (апт) западно от гара Мездра. Доминират среднозърнестите пясъчници с хоризонтална, нискоъгълно-косослоеста и масивна текстура. Наблюдават се още относително тънки пластове и лещи от хипоскали, аргилити и мергели. Установени са нива с гипс, както и единични тънки въглищни пластове.

В разреза са установени и характеризирани седиментационни цикли с дебелина от 1.7 до над 4 m. Началото на циклите е маркирано от разнообразни ерозионни текстури, интра- и екстракласти, текстури на синседиментационна деформация, предимно вертикални биотурбации и огрубяване на структурата на скалите. В средната част на циклите преобладават по-дребно и финозърнести скали с предимно хоризонталнослоеста текстура, а биотурбациите, доколкото са проявени, са предимно хоризонтални. Към горнището на циклите, наред с относително огрубяване на скалите, се установява развитие на палеопедогенни белези, а на места и на нива с гипс.

За целите на фациалната интерпретация са проведени и специализирани минераложки, петрографски и геохимични изследвания на проби от въглищните пластове.

Направени са изводи за условията и процесите на утайконатрупване при формирането на скалите на Романската свита в този район, в това число преобладаващата посока на седиментен палеотранспорт, характера на палеоландшафта и на палеоклимата.

Introduction

The Roman Formation (Nikolov, In: Ivanov and Nikolov (eds), 1983) is composed by sandstones, marls, siltstones and claystones, alternating irregularly with Urgonian limestones. The age of these rocks is Lower Cretaceous – from Upper Barremian to Aptian stage. At some levels the unit contains thin coal seams. The thickness of the Roman Fm varies in large diapason – from several hundred meters to over thousand meters. The area of distribution of this unit is the area of Iskar fall, in the Western edge of the central Fore Balkan and in some parts of the Eastern Fore Balkan. Most widely these rocks are outcropped in Central-North Bulgaria, mainly between the towns of Vratza and Sevlievo.

In the studied area the sandstones of the Roman Fm overlay

with short lithological transition the marls of the Sumer Formation (Upper Aptian) and are covered through disconformity by the sandstones of the Darmantzi glauconitic-sandylimestone Formation (Upper Campanian – Lower Maastrichtian). The thickness of the Roman Fm here is about 400 m.

Except some very short reports (Айданлийски, В: Синьовски и др., 2004) and despite of its wide distribution in North Bulgaria the Roman Fm is still poorly studied in view of its lithofacial properties and inner stratigraphical architecture. For this reason, detailed lithofacial and stratigraphic descriptions of concrete section of the unit practically do not exist in the literature.

This paper presents the first, more detailed lithological and high-resolution stratigraphic description of part of the Roman

Fm in the area of the Iskar Gorge. Object of study is one section of the unit situated on the road Botevgrad-Mezdra, about 2 km NE of Rebarkovo village, immediately east of Kteta hamlet (Fig. 1). On the basis of detailed field and laboratory lithofacial studies a model of the depositional style is proposed. After specialized petrographical study of coal sample new data about the specificity of the depositional environment during the deposition of the sediments of the Roman Formation is obtained.



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

Material and methods

The object of the study is an about 65 m thick section from the lower part of the upper half of the Roman Formation. The lithofacial documentation of the studied succession is based on the Miall (1996) lithofacial scheme which was adapted and modified according its specificity. The lithological determinations in the rock samples are according to the proposed by Султанов (1980) classification of clay-carbonate rocks. The field color description of the rocks in the section is based on the Rock-Color Chart (1991).

Special attention was paid to the coal sample, which was investigated in order to provide some additional data against the specificity of the depositional environment. A representative part of the sample was crushed to <250 µm and then analyzed with Leco CS 300 instrument in order to establish the Total Organic Carbon (TOC) and sulphur contents. Rock Eval pyrolysis in duplicate, using a RockEval 2+ instrument was performed. The amount of hydrocarbons, released from the organic matter during gradual heating in a helium stream was normalized to the TOC to calculate the Hydrogen Index (HI; mgHC/gTOC). As a maturation parameter the temperature of maximum hydrocarbon generation T_{max} (°C) was established. Ash and moisture content measurements followed standard procedures (Deutsches Institut für Normung, 1978, 1980).

For microscopic investigations, the coal sample was crushed to a maximum size of 1 mm, mounted with epoxy resin, ground and polished. Maceral analysis was performed by Single-scan method (Taylor et al., 1998) with Leica MPV microscope, equipped with reflected white and blue irradiation light. At least 300 points were counted, using automatic point counter "Prior G". Huminite reflectance was measured on eu-ulminite. At least 50 points were measured, using Yttrium-Aluminum-Garnet standard with reflectance 0.899%.

Results

Lithofacial characteristic

The studied log is dominated by medium grained, well to poorly sorted, medium to thick bedded, limy to clayey sandstones (Fig. 2). In the lower part of the outcrop predominate the low-angel cross-bedded and horizontal laminated structures (lithofacieses SI and Sh), while to the top of the sequence the planar and trough cross-bedded structures (lithofacieses Sp and Str) are more typical (Fig. 3). The massive and smallscale cross-bedded (mainly current ripple) sandstones are rarer. Sinsedimentary deformations (mainly slumps) with varying scales, are detected in several levels. Horizontal and rarely vertical bioturbation structures are observed mainly in the lower part of the studied log.

Other typical feature of the sandstones is the presence of extra- (mainly quartz) and intraformational clasts – mudclasts. Pebbly in size, usually well to medium rounded, they do not exceed several percentages in the sandstones and occupy the lamina surfaces. Just in several levels they form thin lag deposits (lithofacies Gm), where imbrications structure can be seen.



Fig. 2. Lithological characteristics of the representative for the studied outcrop rocks (according to the classification diagram of Sultanov, 1980)

The fine-grained rocks are presented mainly by sandy- and clayey siltstones with massive (lithofacies Fm) and laminated structure (lithofacies FI), silty to pure claystones (lithofacies Fsc) and sandy, silty to pure marls (lithofacies M). Usually they form thinner than the sandstones packages where intercalation is seen. On the top of such package, dominated by marls, thin coal seam – lithofacies C, was detected (Fig. 3).





Fig. 3. Lithofacial log of the studied section. Lithology: (1) gravel - a) extraformational and b) intraformational; (2-6) sandstone: 2) very coarse; 3) coarse; 4) medium; 5) fine; 6) very fine; (7) siltstone; (8) claystone; (9) marl; (10) coal seam; (11) limy; (12-13) gravel size: 12) intraformational clasts; 13) extraformational clasts; Structures: (14) synsedimentary deformation – a) slump and b) slide; (15) trough cross-bedding; (16) low-angle cross-bedding; (17) planar cross-bedding; (18) small-scale cross-bedding – a) current and b) climbing ripples; (19) horizontal lamination; (20) bioturbation – a) horizontal and b) vertical; Clasts arrangement: (21) matrix supported – along the a) horizontal and b) cross-bedding lamination; (22) grain supported – a) lenses and b) imbrication; (23) boundaries – a) small scale erosional (scour structure) and b) main erosional surface with erosion amplitude; (24) cycle boundary; Mineralogy: (25) terrigenous mica – a) along the lamination and b) chaotic; (26) – a) paleosol feature and b) evaporate gypsum; (27) lithofacieses – a) transition and b) alternation; (28) paleotransport direction

Other specific characteristic of the studied succession is the existence of the paleosol features and the development of gypsum nodules and thin crusts. The palesol products are presented mainly by small usually solitary, rare as clusters (honeycomb), powder ferro-oxide concretion.

The systematic measurements of the structure that indicate the direction of the paleotransport, mainly trough crossbedding, reveal oriented generally eastward sedimentary transport system.

Sedimentary cyclicity

The obtained data permit the distinguishing of asymmetrical and symmetrical sedimentary cycles. The bottom of the cycles is marked by erosional surface, often covered by lithofacies Sm, enriched by intra- and extraformational clasts. The sandstones are coarser and purely sorted. The amplitude of the erosion reaches 60 cm, but usually is about 20-30 cm. When the sandstones are laminated different in scale synsedimentary deformation structure – mainly slumps, can be observed.

The middle parts of the cycles are predominantly composed of fine- to very fine-grained rocks, mainly with planar structure. The bioturbations, as far as they are presented here, are mainly horizontal. Towards the top of the cycles, together with the relatively coarsing of the rocks, some development of immature paleosol features and uneven level with gypsum are detected. Some sinsedimentary deformations are observed as well. The bioturbation structures, where they are developed, are mainly vertical.

The thickness of the sedimentary cycles vary in range from 1.7 to 4.3 m, with pronounced domination of the cycles with thickness about 2.1-2.6 m.

Coal formation

The peat/coal deposition in alluvial valley/upper delta facies is generally controlled by the quantity of the terrigenous mineral matter, carried by the rivers, and usually results in formation of very high ash peats, due to the enormous mineral influx. A modern example of such coal-bearing strata is the Mississippi delta, which contains up to 5 m thick peat, interfingering with levee and crevasse splay deposits (Fisk, 1960: in McCabe, 1987), with an average ash content of 72 wt. % (dry-free basis; db). The development of the upper deltaic facies is related with the formation of meandering or anastomozing alluvial valleys, transporting the main part of the mineral matter. However,

these active channels occupy only minor proportion of the whole deltaic plain and enclose large flood plain areas between them. The later can occasionally be flooded, especially in the wet seasons by overflow of the river banks. Within these areas organic matter can accumulate, usually in lacrustine environment, resulting in deposition of peat, containing large quantities of alginite, allochtonous liptinite macerals and inertinites (Diessel, 1992). It is possible in some cases a mire, which was initially developed as well- or poorly drained lowlying mire to be converted to a raised one (McCabe, 1987), due to the enhanced peat growth, combined with slow rate of basin subsidence. In such mires, as well as ones, located in remote areas, away from the fluvial sediment source, the nutrients supply diminishes and may even stop for an extended period of time (Diessel, 1992). This results in changes of the depositional environment, in which the organic matter accumulate, and establishment of oligotrophic conditions. These mires are mainly rein-fed and are able to build upwards, due to the ability to maintain their own water table (McCabe, 1987). Raised mires form in climatically very different conditions from tropical to cold climates. However, distinction can be made between the peat from tropical climates, which are mainly forested, and of temperate regions, which are not (McCabe, 1987). Although no direct data regarding the climate during the Early Cretaceous in Bulgaria is supplied, the maceral composition of the coal indicates, that the climate was warm enough to favour development of mixed forested plant community. In addition, the petrographic composition of the studied coal represents a way to indirectly establish the paleoclimate. An analogous can be made with two late Oligocene coal deposits, located in West Bulgaria, i.e. Pernik and Bobov Dol deposits, which were developed in warm tempered climate (Palamarev et al., 1998). The "Mezdra coal" contains variable amounts of a specific type of resinite (Figs. 4a, b, d), characterized by medium reflectance and very weak fluorescence (Taylor et al., 1998), which is also typical for the Pernik (Zdravkov, unpublished data) and Bobov Dol (Zdravkov, Kortenski, 2004, in press) deposits. During the bituminization process large amounts of hydrocarbons are produced from this resinite (Taylor et al., 1998), which later infill the cell lumens of textinite/texto-ulminite in the form of low reflecting and strong fluorescing exsudatinite (Figs. 4a, b). The presence of this type of resinite in these deposits suggests the growth of similar plant communities and thus provides a way to indirectly establish the climatic conditions during peat formation in Mezdra region.



Fig. 4. Representative photomicrographs of the studied coal sample: a) transition form textinite to texto-ulminite (TU) with cell lumens, filled by low reflecting exsudatinite (E), 500x, reflected light; b) same as a), 500x, fluorescent light; c) coprohuminite (Ch), filling the lumens of texto-ulminite, in association with eu-ulminite (EU), diagenetic pyrite (Py) was formed in cracks in the eu-ulminite, 500x, reflected light; d) texto-ulminite (TU) with resinite (R) and coprohuminite (Ch) in its lumens, in association with eu-ulminite (EU), 500x, reflected light; e) densinite groundmass (D) with inertodetrinite (Id), semifusinite (SFs), funginite (F) and microspores (Sp), 500x, reflected light; f) same as e) – microsporinite (Sp) and liptodetrinite (Ld), 500x, fluorescent light; g) association of pyrofusinite (Fs) and semifusinite (SFs), 500x, reflected light; h) densinite groundmass with pyrofusinite (Fs) and inertodetrinite (Id), 500x, reflected light

The other liptinite macerals (mainly microsporinite and litodetrinite, Figs. 4e, f) in the studied coal sample are determined only in very small amounts.

Raised mires are usually characterized by more acidic conditions, then in other peat forming environments (Diessel, 1992; Taylor et al., 1998). This fact, as well as the restricted nutrients supply, due to the almost complete lack of mineral influx (ash content < 5 vol.%), reflects in decrease of the bacterial activity and thus in better tissue preservation (Taylor et al., 1998). Especially resistant were the tissues, which cell walls were primarily impregnated by resinous or tannin-derived substances. As a consequence, up to 13% of texto-ulminite (Figs. 1a, b, c, d), sometimes in transition to textinite (Fig. 4a), were detected in the analyzed coal. During the coalification process the major part of the resinite has been converted to exsudatinite, whereas almost 4% of coprohuminite cell excretions (Figs. 4c, d) were formed from the tannin-impregnated cell walls. The other part of the woody tissues (around 20%), which were not impregnated in the living plant, were easily converted to completely gelified eu-ulminite particles (Fig. 4c, d), closely associating with the texto-ulminite. In contrast to the woody plants, the herbaceous vegetation, which is rich in cellulose (Stach et al., 1982) usually degrade easily even in the absence of bacteria, thus forming a major part of the humodetrinite. The established mire conditions allow us to speculate that the high amount of densinitic groundmass (42 vol.%; Figs. 4e, g, h) in the studied coal sample indicates an enhanced contribution of herbaceous vegetation to the peat formation, rather then a severe humification of wood plants. In addition to the maceral composition high amount (up to 18%) of inertinite macerals was found in the coal. Their presence indicates low levels of the water table (Diessel, 1992), resulting in establishment of more oxidizing conditions and increasing the wildfire frequency. The Inertinite group is represented mainly by inertodetrinite (Figs. 4e, h), while the contents of both pyrofusinite (Figs. 4g, h) and semifusinite (Fig.4g) do not exceed 3.5 vol.%. Single fungal remains (ICCP, 2001) can rarely be seen too.

As a consequence of the deposition in a raised mire the studied coal is characterized by low ash content (<5%). However, the sulfur content is generally high (3.54 %). However, sulphur-bearing minerals (mainly diagenetic pyrite) were detected in very small amounts. This is most probably as a result of the lack of Fe ions, which are commonly transported into the mire adsorbed on clay minerals. The absence of mineral influx thus restricts the quantity of the Fe. In addition, since there is not enough energy for purely chemical reduction of sulphates to sulfides, the iron sulfide in peat can only be formed due to bacterial activity (Neavel, 1966), which as noted above is more or less decreased in raised mires. Therefore, the main amount of S probably occurs in organic complexes. According to the values of the Huminite reflectance (Rr = 0.47) and the TOC (71.6%, daf) the coal is on sub-bituminous stage of coalification (Taylor et al., 1998). This corroborates well with the results from the pyrolisis experiments, which indicate an immature organic matter (Tmax = 423 °C) with low hydrocarbon potential (HI = 105.3).

Conclussions

On the base of the obtained during the current study data we can conclude that the formation of the sediments of the Roman

Fm pass in terrestrial conditions with relatively insignificant marine influence and source area, situated to the west of the studied location. The described above lithofacies architecture and cyclicity is characteristic for the delta-plain sedimentary environments which sporadically have been covered by marine waters. In such settings the channel distribution processes dominates forming wide and relatively flat delta plain. The coal formation indicates a local development of raised mires under warm tempered climate.

References

- Паламарев, Е., Д. Иванов, Г. Китанов. 1998. Нови данни за фосилната флора от Бобовдолския басейн и нейното биостратиграфско значение. Сп. Бълг. геол. д-во, 59, 2-3, 13-21.
- Синьовски, Д., М. Антонов, В. Желев, Г. Айданлийски, С. Вангелов, К. Стойкова. 2004. Маршрут III. Лютиброд-Челопек. - В: Геоложки маршрути в северната част на Искърския пролом (ред. Синьовски, Д.). С., Изд. Ваньо Недков, 43-50.
- Султанов, А. Т. 1980. Новая классификационная диаграмма глинесто-карбонатных пород системы карбонат-глина-обломочный компонент. – Докл. БАН, 33, 8, 1103-1106.
- Deutsches Institut für Normung. 1978. Feste Brennstoffe; Bestimmung des Wassergehaltes, DIN 51718.
- Deutsches Institut für Normung. 1978. Feste Brennstoffe; Bestimmung des Aschegehaltes, DIN 51719.
- Diessel, C. F. K. 1992. Coal-bearing Depositional Systems. Springer, Berlin, 721 p.
- ICCP. 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994) Fuel, 80, 459-471.
- McCabe, P.J. 1987. Facies studies of coal and coal-bearing strata. – In: Scott, A. (ed.) Coal and Coal-bearing Strata: Recent Advances. Geological society special publication 32, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 51-66.
- Miall, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology. Springer, 582 p.
- Neavel, R. C. 1966. Sulfur in Coal: Its Distribution in the Seam and in Mine Products. Ph.D. Thesis, Penn. State Univ., 332 p.
- Nikolov, T. 1983. Coupe de la Formation de Roman. In: Reunion extraordinare de la Socièté géologique de France en Bulgarie (Eds. Ivanov, J., T. Nikolov). Sofia, Presse univers., 50-51.
- Rock-Color Chart. 1991. (7th print.) Geol. Soc. Amer., Boulder, Co.
- Stach, E., M. Mackowsky, M. Teichmüller, G. Taylor, D. Chandra, R. Teichmüllern 1982. Stach's Textbook of Coal Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- Taylor, G., M. Teichmuller, A. Davis, C. Diessel, R. Littke, P. Robert. 1998. Organic Petrology. Berlin-Stuttgart, Gebrüder Borntraeger, 704 p.
- Zdravkov, A., J. Kortenski. 2004. Petrology and depositional environment of the coal from Bobov Dol basin, Bulgaria. – *Ann. Univ. Min. Geol.*, 47, 1, 101-108.

Recommended for publication by Department of

Geology and Paleontology, Faculty of Geology and Prospecting

DISTRIBUTION OF SOME RARE ELEMENTS IN THE PALEOGENE SARNITSA MAGMATIC GROUP, EASTERN RHODOPES

Vladimir Georgiev¹, Petar Milovanov²

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; vladogeo@geology.bas.bg ²Geology and Geophysics Ltd.

ABSTRACT. Sarnitsa Group unites the intermediate magmatic rocks of the late extensional Paleogene magmatism in the Northeastern Rhodope Depression. This group includes the successively formed Kolets basalt-andesite, Voinovo shoshonite-latite, Bukovo shoshonite-latite, Nikolovo latite, Bezvoden latite and Dragoina lartite complexes. Typical of these complexes is the similar content of the studied rare elements (Rb, Nb, Y, Zr, Sr). This supports the assumption that they originated during the evolution of a common magma chamber. The rocks of Sarnitsa Group differ essentially from those of Putocharka Subgroup of Dambala Group by considerably higher contents of Rb, Nb, Y and S. This suggests that they resulted during the evolution of two different magma chambers, located in depth within the Northeastern Rhodope and Momchilgrad Depression, respectively. The tectonic discrimination diagrams (Nb-Y; Rb-Y+Nd; Rb-SiO₂; Y-SiO₂; Nb-SiO₂; Rb/Zr-SiO₂) yield controversial results. This is probably due to the fact that they do not take into consideration magmatic rocks in extensional areas, the Rhodope massif being a typical example. The results obtained lead to the conclusion that the discrimination between different types of tectonic environment, based only on one type of diagram, is unreliable and incorrect.

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

Владимир Георгиев¹, Петър Милованов²

¹Геологически институт, БАН, София 1113; vladogeo@geology.bas.bg ²Геология и геофизика АД

РЕЗЮМЕ. Сърнишката група обединява среднокиселите магмени скали на късноекстензионния палеогенски магматизъм в Североизточнородопската депресия. Тя включва последователно формираните Колецки базалт-андезитов, Войновски шошонит-латитов, Буковски шошонит-латитов, Николовски латитов, Безводенски латитов и Драгойновски латитов комплекси. Тези комплекси се характеризират с близките съдържания на изследваните редки елементи (Rb, Nb, Y, Zr, Sr), което подкрепя предположението, че те са резултат на еволюцията на една обща магмена камера. Скалите от Сърнишката група се различават съществено от тези на Путочарската субгрупа на Дамбалската група със значително по-високите си съдържания Rb, Nb, Y и Sr. Тези данни подкрепят предположението, че те са резултат на еволюцията на една обща магмена камера. Скалите от Сърнишката група се различават съществено от тези на Путочарската субгрупа на Дамбалската група със значително по-високите си съдържания Rb, Nb, Y и Sr. Тези данни подкрепят предположението, че те са резултат от еволюцията на две различни магмени камери, разположени в дълбочина съответно на Североизточнородопската и Момчилградската депресии. Резултат от еволюцията от дискриминационните диаграми за типа на тектонската обстановка са силно противотечиви (Nb–Y; Rb-Y+Nd; Rb-SiO₂; Y-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 ненадеждно и некоректно.

Introduction

The Northeastern Rhodope Depression is located between the Central Rhodope dome (metamorphic core complex) and Harmanli block (Georgiev, 2005). It originated during the Paleogene as the result of extensional processes in the Rhodope Massif (Ivanov, 2000). The depression is the locus of intense magmatism, the products of which cover about 1 800 km² and locally exceed 1 500 m in thickness. The earlier phases of Sarnitsa Magmatic Group (Late Priabonian-Early Rupelian) are intermediate in composition while the later phases of Chamdere Magmatic Group (Rupelian) are acidic (Georgiev, Milovanov, 2005, 2006a, 2006b). The Sarnitsa Magmatic Group includes the successively formed (from base to top) Kolets basalt-andesite, Voinovo shoshonite-latite, Bukovo shoshonite-latite, Nikolovo latite, Bezvoden latite and Dragoina latite complexes (Fig. 1). The rocks of this group are spatially closely associated and are supposed to have a common magma source (chamber).

According to K_2O content, the rocks of Sarnitsa group are referred to the shoshonitic series. Only the trend of Kolets basalt-latite complex plots in the field of the high-potassium calc-alkaline series but close to the boundary with the shoshonitic one. According to K_2O+Na_2O content they belong mainly to the alkaline (trachytic) varieties.



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

Results

There are no essential differences in the distribution of the studied rare elements (Rb, Nb, Y, Zr, Sr) in the individual magmatic complexes of Sarnitsa Group (Fig. 2). Rb, Nb, Y μ Zr in the earlier complexes (Kolets, Voinovo, Bukovo) show a tendency to increase towards the later (Nikolovo, Dragoinovo) complexes (Fig. 2). This tendency is best expressed with respect to Y and correlates well with the increasing content of K₂O and K₂O+Na₂O.

The rocks of Sarnitsa Group in the Northeastern Rhodope Depression show considerably higher Rb, Nb, Y and Sr values as compared to those of Putocharka Subgroup (likewise of intermediate composition) of Dambala Group in Momchilgrad depression (Georgiev, Milovanov, 2003). This difference is best expressed for Sr whose values in Sarnitsa Group are approximately two times higher that those in Putocharka Subgroup (Fig. 3). The results form tectonic discrimination are controversial (Fig. 4). On the Rb-Y+Nb diagram, the plots cluster around the boundary VAG-WPG and close to the boundary with the syn-COLG field. On the Nb-Y diagram, the samples plot around the boundary VAG+syn-COLG-WPG and close to the boundary with ORG. On the Rb-SiO₂ diagram, the plots fall entirely within the VAG (WPG) field. On the Y-SiO₂ diagram the plots are mainly in the WPG+ORG field but close to the boundary VAG+COLG+ ORG whereas single samples plot in the field of VAG+COLG+ORG. The relations on the Nb-SiO₂ diagram are reverse. Most samples plot in the VAG+COLG+ORG field, close to the boundary with WPG+ORG and some samples – in the WPG+ORG field. On the Rb/Zr-SiO₂ diagram most plots cluster in the field of post-COLG+VAG and only an insignificant part – in the syn-COLG field.



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

Discussion

The rocks from the individual complexes of Sarnitsa Group do not differ essentially by the content of the studied rare elements (Rb, Nb, Y, Zr, Sr). This supports the assumption that the magmatic complexes of Sarnitsa Group have a common origin and resulted from separate phases, generated by a single magma chamber (Georgiev, Milovanov, 2006a).

The rocks of Sarnitsa Group differ essentially from those of Putocharka Subgroup of Dambala Group by considerably higher content of Rb, Nb, Y and Sr. These data support the assumption that they resulted during the evolution of two different magma chambers, located in depth within the Northeastern Rhodope and Momchilgrad depression, respectively.

The results from tectonic discrimination, attempting to infer the type of tectonic environment, are controversial and mutually excluding. This is probably due to the fact that the diagrams do not take into account extensional areas, the Rhodope massif being a typical example (Ivanov, 2000). Yanev (1998), using only the Rb/SiO₂ diagram and only acidic rocks from the Eastern Rhodopes, defined them as syn-COLG. The data of Georgiev, Milovanov (2001, 2003) and those from the present study show that the intermediate rocks plot definitely within the VAG (WPG) field of these diagrams. The results obtained lead to the conclusion that the discrimination between tectonic environments, based on one type of diagram only, is unreliable and incorrect.



Fig. 3. Comparative diagrams showing distribution of Rb, Nb, Y, Zr, Sr in rocks from Sarnitsa Group and Putocharka Subgroup

 Table 1

 Representative analyses of Samitsa group

 0010001	nunvo ur	luiyooc		annic	su grou	0
No	SiO ₂	Rb	Nb	Υ	Sr	Zr
	В	ukovo	compl	lex		
1007	54,84	122	18	42	970	174
269	56,55	158	15	39	974	202
6	58,60	138			703	112
715	57,81	149	18	44	941	179
1023	58,00	142			756	114
1006	53,91	127	15	35	866	170
1010	56,38	114	20	43	1079	135
1011	54,88	107	16	43	1012	148
61	59,85	244	17	40	813	181
36	58,10	278	17	37	814	153
23	57,02	163			724	118
519	56,44	189	19	39	674	180
500	55,96	104	19	34	777	194
505	57,10	167	19	34	775	213
213	53,25	154	19	36	911	183
51	58,40	137	15	36	952	166

No	SiO ₂	Rb	Nb	Y	Sr	Zr
	V	oinovo d	comp	ex		
6342	60,00	134	6	37	806	153
6334	58,25	184	17	51	1268	183
509	49,90	86	14	35	611	142
518	56,14	183	17	35	679	175
520	56,10	140	16	34	720	170
503	61,78	130	19	35	984	200
502	59,12	155	21	38	768	190
530	59,05	111	23	35	1102	240
512	51,58	133	16	32	726	186
	k	Koletz c	omple	ex		
6110	48,56	46	8	33	957	172
42	48,30	43	8	35	1130	173
510	58,93	143	20	38	874	200
527	57,50	115	16	30	700	147
504	57,05	88	19	32	970	195
506	60,40	189	19	40	938	171



Fig. 4. Discrimination diagrams for the tectonic environment of Sarnitsa Group (after Pearce et al., 1984 ; Harris et al., 1986)

	Tabl	le 1	. C	ontir	nuation
--	------	------	-----	-------	---------

-			1	1		1
No	SiO ₂	Rb	Nb	Υ	Sr	Zr
	Dr	agoina	comp	lex		
130	62,05	215	20	41	829	245
11	62,10	203	19	50	677	179
132	60,54	213	21	41	835	249
66	60,20	230			874	139
12	57,10	185	20	54	989	199
1008	56,71	288	22	38	795	180
459	58,92	163	15	36	783	226
1000	56,90	163	18	45	848	194
1001	56,80	170	18	44	860	234
246	61,83	180	18	40	782	228
1529	59,47	192	19	36	504	213
13	58,20	170			872	120

No	SiO ₂	Rb	Nb	Υ	Sr	Zr	
Dragoina complex							
111	58,85	181	19	38	912	210	
1445	57,63	167	16	38	960	182	
1018	62,27	232			620	126	
1044	60,49	258			596	156	
1019	61,65	205			691	116	
508	57,00	161	25	43	1106	301	
528	55,49	174	27	33	1076	300	
89	58,92	184	20	35	582	191	
82	57,40	210	18	37	963	176	
	Ni	kolovo	comp	lex			
8475	58,40	240	23	52	1242	249	
6753	57,14	133	13	43	1056	210	
6105	61,10	173	13	45	866	210	

References

- 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. 2001. Volcanism in the Momchilgrad volcanotectonic depression. C. R. Acad. Bulg. Sci., 54, 3, 63-66.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2003. Some trace element distribution in the magmatic rocks from the Momchilgrad depression (Eastern Rhodopes). – C. R. Acad. Bulg. Sci., 56, 10, 75-80.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2005. Late alpine magmatic groups and komplexes in the Eastern Rhodopes. – C. R. Acad. bulg. Sci., 58, 1, 53-58.
- Georgiev, V., P. Milovanov. 2006a. Magmatic Lithostratigraphic units in the Eastern Rhodopes. – *Minno delo i Geologia, 61,* 2, 33-37 (*in Bulgarian with English abstract*).

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

- Georgiev, V., P. Milovanov. 2006b. Magmatic Lithostratigraphic units in the Eastern Rhodopes. II. The Sarnitsa group. – *Minno delo I Geologiq Journal, 61, 5, 36-40 (in Bulgarian with English abstract).*
- 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. S. Publ., Blackweill Scient. Publ., Oxford, *19*, 67-81.
- Yanev, Y., 1998. Petrology of the Eastern Rhodopes Paleogene acid volcanics, Bulgaria. – Acta Volcanol., 10, 2, 265-277.

PETROCHEMICAL FEATURES OF THE PALEOGENE SARNITSA MAGMATIC GROUP, EASTERN RHODOPES

Vladimir Georgiev¹, Petar Milovanov²

¹Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113; vladogeo@geology.bas.bg ²Geology and Geophysics Ltd

ABSTRACT. Samitsa Group unites the intermediate magmatic rocks of the late extensional Paleogene magmatism in the Northeastern Rhodope Depression. It includes the successively formed Kolets basalt-andesite, Voinovo shoshonite-latite, Bukovo shoshonite-latite, Nikolovo latite, Bezvoden latite and Dragoina latite complexes. A distinct tendency toward increasing acidity and alkali content (K, K+Na) from earlier to later phases (complexes) is observed. Voinovo and Bukovo complexes have similar composition and close trends in the distribution of main oxides. They probably represent one phase of an evolving magma chamber, but have different spatial distribution and form Voinovo volcano and the base of Dragoina Volcano, respectively. Nikolovo, Bezvoden and Dragoina complexes have also close composition and trends but different from those of Voinovo and Bukovo complexes with respect to the content of K₂O, K₂O+Na₂O, TiO₂, Al₂O₃. The former are probably the result of a common later phase in the development of the magma chamber and form Nikolovo volcano and the late phases of Bezvoden and Dragoina do volcano and the base of Tomos and Bukovo complexes with respect to the content of K₂O, K₂O+Na₂O, TiO₂, Al₂O₃. The former are probably the result of a common later phase in the development of the magma chamber and form Nikolovo volcano and the late phases of Bezvoden and Dragoina volcanoes, respectively. On the K₂O/SiO₂ diagram, most analyses from Sarnitsa Group plot in the field of the shoshonite series and only single ones – in the field of the high potassium-calc-alkaline series. Only the trend of Kolets Complex lies in the field of the high potassium-calc-alkaline series.

ПЕТРОХИМИЧНИ ОСОБЕНОСТИ НА ПАЛЕОГЕНСКАТА СЪРНИШКА МАГМЕНА ГРУПА В ИЗТОЧНИТЕ РОДОПИ Владимир Георгиев¹, Петър Милованов²

¹Геологически институт, БАН, София 1113; vladogeo@geology.bas.bg ²Геология и геофизика АД

РЕЗЮМЕ. Сърнишката група обединява среднокиселите магмени скали на късноекстензионния палеогенски магматизъм в Североизточнородопската депресия. Тя включва последователно формираните Колецки базалт-андезитов, Войновски шошонит-латитов, Буковски шошонит-латитов, Николовски латитов, Безводенски латитов и Драгойновски латитов комплекси. Наблюдава се отчетлива тенденция на повишаване на киселинноста и алкалноста (K; K+Na) от ранните към късните фази (комплекси). Войновският и Буковския комплекси имат сходен състав и близки трендове на разпределение на основните окиси. Те вероятно са една фаза в развитието на обща магмена камера, но имат различни ареали на разпространение и изграждат съответно Войновския вулкан и основата на Драгойновския вулкан. Николовският, Безводенският и Драгойновският близък състав и тенденце на разпределение, различни от тези на Войновския и Буковския комплекси по отношение на К₂O, K₂O+Na₂O, TiO₂, Al₂O₃. Те вероятно съ резулка в развитието на магмената камера и изграждат съответно Николовския вулкан и късните фаза в развитието на магмената камера и изграждат съответно на разпределение, различни от тези на Войновския и Буковския комплекси по отношение на К₂O, K₂O+Na₂O, TiO₂, Al₂O₃. Те вероятно също са резулта на една обща по-късна фаза в развитието на магмената камера и изграждат съответно Николовския вулкан и късните наставки на Безводенския и Драгойновския вулкани. На диаграмата К₂O/SiO₂ точките на повечето анализи от Сърнишката група попадат в полето на шошонотовата серия и само единични в полетата на висококалиево-калциевоалкалната и висококалиевосубалкалната серия. Единствено трендът на Колецкия комплекс се разполага в по-голямата си част в полето на висококалиево-калциевоалкалната серия.

Introduction

During the Pleogene, as a result of extensional process in the Rhodope massif (Ivanov, 2000), the Northeastern Rhodope Depression developed between the Central Rhodope dome (metamorphic core complex) and Harmanly block (Georgiev, 2005). The base of the section comprises Paleocene-Eocene terrigenous sediments and reefal limestones. In the end of the Priabonian and the Rupelian, the depression was the locus of intense volcanism. The earlier phases (Late Priabonian - Early Rupelian) are of intermediate composition, whereas the later (Rupelian) are acidic. The intermediate phases are included in Sarnitsa Magmatic Group and the acidic – in Chamdere Magmatic Group (Georgiev, Milovanov, 2005a; 2006a; 2006b).

The present paper is focused on the intermediate rocks of Sarnitsa Group. They form Kolets, Yavorovo, Nikolovo, Bezvoden and Dragoinovo volcanoes as well as many smaller volcanic structures. The Sarnitsa Group includes the successively formed (from bottom to top) Kolets basaltandesite, Voinovo shoshonite-latite, Bukovo shoshonite-latite, Nikolovo latite, Bezvoden latite and Dragoina latite complexes (Fig. 1). The rocks of this group are spatially closely associated and are supposed to have a common magma source (chamber).

Results

Latite varieties prevail in all complexes of Sarnitsa Group (Table 1; Fig. 2, 3, 4). However, basalt varieties (48-52% SiO₂) occur in the earliest Kolets and Voinovo complex. Shoshonite varieties (52-57% SiO₂) are significant in the intermediate in age Voinovo and Bukovo complexes, whereas latite varieties (57-63% SiO₂) dominate in the latest Nikolovo, Bezvoden and



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

Dragoina complexes. In this way, a well expressed trend to increasing acidity from earlier to later phases is evident.

On the K₂O/SiO₂ diagram, most rocks of Sarnitsa Group plot in the field of the shoshonitic series and only some of them – in the field of the high-potassium calc-alkaline and highpotassium subalkaline series (Fig. 3). The distribution trends of the analyses likewise fall within the field of the shoshonitic series. Only the trend of Kolets basalt-latite complex lies in the field of the high-potassium calc-alkaline series but close to the boundary with the shoshonitic series. A distinct tendency to increasing K content is observed from earlier toward later phases (complexes). The K content is lowest in Kolets basaltlatite complex. The next in time Voinovo and Bukovo shoshonite-latite complexes are characterized by intermediate K values. The latest Nikolovo, Bezvoden and Dragoina latite complexes exibit the highest K content.

The rocks of Sarnitsa Group are characterized by higher general alkalinity and on the $(Na_2O+K_2O)/SiO_2$ diagram almost all samples plot in the field of the trachytic varieties (Fig. 4).

The same distinct trend toward increasing general alkalinity from earlier to later phases is evident.

Discussion

There is a general trend toward increasing acidity and alkalinity (K_2O , Na_2O+K_2O) from earlier to later phases (complexes).

Voinovo and Bukovo complexes are very close in age (36,2 - 36,9 Ma, Milovanov et al., 2005), composition and trends in the distribution of main oxides (K₂O, K₂O+Na₂O). They probably represent one phase in the evolution of a common magma chamber but have different spatial distribution and form Voinovo volcano and the base of Dragoina volcano.

Nikolovo, Bezvoden and Dragoina complexes are also close in age (33,1–32,2 Ma, Milovanov et al., 2005), composition and trends but they differ from the Voinovo and Bukovo complexes with respect to K₂O, K₂O+Na₂O, TiO₂ and Al₂O₃.



Fig. 2. Harker digrams of main oxides



Fig. 3. K₂O/SiO₂ diagram (after Dabowski et al., 1991)



Fig. 4. (Na₂O+K₂O)/SiO₂ diagram (after Le Bas et al., 1986). For the key see Fig. 3

They are probably also products of a later phase in the evolution of the magma chamber and form Nikolovo volcano and the later phases of Bezvoden and Dragoina volcano.

The rocks of Sarnitsa Group differ considerably from the intermediate rocks of Dambala Group (Zdravets Subgroup), which show lower K_2O and Na_2O+K_2O values and belong mainly to the high-potassium calc-alkaline series (Georgiev, Milovanov, 2003; 2004). This is another reason to assign them to different magmatic groups – probable products of the evolution of different magma chambers. According to petrochemical features, the rocks of Sarnitsa Group are closer to those of Madzharovo complex (Георгиев, Милованов, 2004, 2005b). However, the considerable distance between

the two magmatic areas do not allow to include Madzharovo complex in Sarnitsa Group.

References

- 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, 1, 63-68.

Table 1.	ntativo	analvs	es of S	arnitsa r	nroun	Sample	numh	or vyM	is dat	a aftor l	Iarcho	v (108	5)				
Neprese		anaiys			Joup.	Sample						V (190	<i>)</i>			11.0+	-
NO	SIO ₂	TIO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	wno	CaU	MgO	K ₂ U		P_2O_5	CO	5	H ₂ U ⁻	LOI	H ₂ U ¹	
400	00.05	0.00	44.00		E 44	0.00	DR/	AGOINA			0.07				0.00	0.00	00.00
130	62,05	0,63	14,88	0.05	5,44	0,08	4,96	2,17	4,85	3,84	0,27				0,82	0,00	99,99
18/2	58,77	0,48	15,40	2,35	7,02	0,07	4,25	2,36	4,74	2,24	0.40	0.00	0.04	0.45	0,72	0,80	99,20
11	62,10	0,59	15,27	2,66	1,96	0,13	4,32	2,46	4,57	2,81	0,48	0,28	0,01	0,45	4 75	1,40	99,49
132	60,54	0,68	15,30		5,31	0,10	4,95	2,60	4,76	3,39	0,27				1,75	0,00	99,65
60	60,20	0,71	14,68	5.00	5,61	0,13	5,87	2,65	4,83	3,39	0,38	0.00	0.04	0.70	1,55	0,00	100,00
12	57,10	0,81	16,99	5,28	0,92	0,20	4,36	2,60	4,84	3,93	0,53	0,03	0,01	0,79		1,20	99,59
1008	50,71	0,70	14,84	5,29	1,54	0,12	6,15	3,67	5,67	2,45	0,79	0,18	0,01	0,45	4.00	1,20	99,77
459	58,92	0,61	15,67	4,43	1,31	0,10	5,33	3,32	4,61	3,06	0,51	0,04	0,02	0,22	1,60	1,70	101,45
1000	56,90	0,65	15,50	3,24	2,41	0,11	5,50	3,33	4,20	3,06	0,61	1,23	0,01	0,20		2,70	99,71
1001	56,80	0,66	15,75	4,84	1,08	0,08	5,45	3,38	4,57	3,06	0,56	0,02	0,04	0,75	0.05	2,70	99,74
246	61,83	0,71	15,35		5,18	0,09	4,82	2,65	4,60	3,17	0,26				0,85	0,00	99,51
1529	59,47	0,70	15,82	0.00	5,77	0,09	4,47	2,74	4,70	3,33	0,26				2,14	0,00	99,49
82a	57,40	0,76	10,00	2,92	3,20	0,15	6,70	4,00	3,80	2,80	0.50				1.00	0,00	97,73
13	50,20	0,03	17,00	0.04	0,70	0,11	5,90	2,00	3,40	3,33	0,50			0.55	1,30	0,00	99,93
111	57,65	0,00	10,72	2,81	2,73	0,10	5,01	3,00	4,29	2,94	0,02		-	0,55	1 02	1,47	99,81
1440	57,03	0,75	10,00	3,00	2,34	0,11	0,41	3,37	3,72	2,70	0,33			0,04	1,03	1,20	101,00
9240	57,05	0,74	10,38	3,05	2,75	0,11	5,83	3,24	4,70	3,44	0,48			1,70	1,40	0,00	101,59
4074	60.07	0,60	15,00	2,70	2,70	0,00),ZI	1,57	4,10	3,10	0,00			0,90	0,42	0,00	99,79
1010	60,40	0,55	10,02		4,70	0,00	4,55	2,04	4,0Z	3,00	0,29				0,09	0,00	99,09
1044	61.65	0,51	14,95		1 20	0,11	4,50	2,40	1 99	2,00	0,44				2,90	0,00	99,00
2070	60.66	0,55	16.49	3.67	4,20	0,07	4,04	2,30	5,00	3 31	0,29	0.04	0.34	0.28	0,09	0,00	99,07
508	57.00	0,50	15 11	3,07	3.34	0,10	4,29	4 70	5.04	2.81	0,49	0,04	0,34	0,20	0,03	2.06	99,70 100 12
528	55.49	0,00	15,11	4 02	3.05	0.15	5.35	3.83	4 65	2,01	0,75	0.38	0.02	0,00		2,00	99.78
517	62.63	0.74	16,35	4 92	0.68	0.06	4 43	1.30	3.87	2,81	0.54	0.13	0.02	0,60	0.82	0.80	100 70
89	58.92	0.48	14 87	2.55	2 12	0.09	4 71	2.52	4 71	2,01	0.46	3,35	0.03	0.50	0,02	5 14	103,15
82	57 40	0,59	14 66	3 83	2 05	0.09	6.53	2 44	5.37	2,10	0,10	2 11	0.07	0,50		2 33	101 16
14	56.37	0.62	15.05	0.92	4,19	0.12	5,73	2.40	5.23	2.70	0.53	2.99	0.01	0.44		1.80	99.10
21	59.80	0.56	15.38	3.50	1.50	0.12	3.93	2.12	3.87	3.69	0.47	1.89	0.01	0.83		2.60	100.27
	,	,	, ,	,	,	, ,	BEZ	VODEN	COMPL	EX	,		,	,		,	
214M	55,91	0,84	15,02	5,15	1,05	0,09	6,59	4,26	4,64	3,37	0,16			0,96		1,65	99,69
3M	57,26	0,77	15,49	2,55	2,54	0,09	7,43	3,92	3,61	3,25	0,26			0,65		1,74	99,56
225M	56,88	0,61	15,55	3,23	3,22	0,12	6,29	3,31	3,61	3,38	0,61			0,92		1,81	99,54
188M	59,48	0,68	15,65	3,17	1,60	0,08	6,58	3,04	4,17	2,96	0,22			0,32		2,55	100,50
152M	59,62	0,65	16,81	2,49	1,77	0,13	5,53	1,79	3,55	2,83	0,28	2,00		0,32		2,55	100,32
193M	59,00	0,73	15,36	5,07	0,68	0,07	5,22	2,24	4,47	3,54	0,22			0,82		3,13	100,55
185M	59,06	0,66	15,76	2,89	2,26	0,09	6,08	3,68	3,77	3,75	0,14			0,23		1,18	99,55
225M	59,82	0,76	15,80	3,69	0,96	0,10	5,47	3,36	3,86	2,84	0,38			1,66		0,99	99,69
194M	59,42	0,85	14,75	4,90	0,55	0,07	5,13	2,26	4,64	3,24	0,24			1,46		3,12	100,63
7M	59,24	0,75	16,82	2,16	2,14	0,08	5,50	2,10	4,47	4,41	0,22			0,25		1,48	99,62
8M	60,34	0,71	16,97	1,72	2,26	0,07	5,38	2,36	3,93	4,10	0,28			0,23		1,53	98,16
195aM	60,34	0,69	15,29	3,50	1,15	0,18	4,98	2,95	5,07	3,71	0,17			0,41		1,03	99,47
200M	60,36	0,81	15,29	3,91	1,28	0,13	5,42	2,72	5,03	3,44	0,29			0,63		1,17	100,48
159M	60,88	0,57	16,58	2,02	1,32	0,03	4,62	1,49	4,87	3,58	0,15			0,48		3,85	100,44
198M	63,15	0,65	15,02	2,48	1,64	0,12	5,09	2,70	4,10	2,79	0,36			0,60		0,68	99,38
	1	T	1	r	1	1	NIK	OLOVO	COMPL	EX		1					
4851	57,24	0,74	16,92	3,36	3,36	0,07	4,72	2,01	5,18	3,59	0,79			1,24	0,63	0,00	99,85
8475	58,40	0,72	16,21	4,93	1,64	0,08	5,70	2,26	5,09	2,94	0,57	0,04	0,04	0,66	0,62	0,85	100,75
6753	57,14	0,80	17,43	4,90	1,13	0,06	6,00	2,42	3,96	3,31	0,55	0,08		1,00		1,03	99,81
6105	61.10	0.60	15.96	5.20	0.63	0.05	4.10	1.94	4.57	4.05	0.57	0.43		0.63	0.50	0.25	100.58

Georgiev, V., P. Milovanov. 2005а. Late alpine маgmatic groups and komplexes in the Eastern Rhodopes. – *C. R. Acad. bulg. Sci.,* 58, 1, 53-58.

Rhodopes). – Ann. Univ. Min. and Geol., 48, 1, 35-40 (in Bulgarian with English abstract).

Georgiev, V., P. Milovanov. 2005b. Petrochemical features of the Paleogene late extensional magmatism in Zlatoustovo depression, Byala Reka and Fesibir domes (Eastern Georgiev, V., P. Milovanov. 2006a. Magmatic Lithostratigraphic units in the Eastern Rhodopes. – Minno delo I Geologiq Journal, 61, 2, 33-37 (in Bulgarian with English abstract).

Continu	alion																
No	SiO ₂	TiO ₂	AI_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P_2O_5	CO	S	H ₂ O ⁻	LOI	H_2O^+	Σ
		1	1	1	1	1	BU	KOVO K	OMPLE	X					1		1
54	54,63	1,02	14,52	7,95		0,17	7,98	3,11	4,42	2,84	0,47				2,67	0,00	99,78
1007	54,84	0,82	15,84	3,95	2,96	0,11	6,98	3,74	4,24	2,61	0,81	0,22	0,01	1,11		1,70	99,94
269	56,55	0,98	17,28	3,39	3,20	0,12	6,14	3,18	2,41	3,69	0,37			0,36		2,00	99,67
6	58,60	0,78	18,16		6,62	0,10	5,86	1,60	3,40	3,46	0,45				0,81	0,00	99,84
715	57,81	0,81	16,55	4,18	1,86	0,11	6,53	2,75	3,96	2,94	0,33	0,57		0,60		0,80	99,80
1023	58,00	0,84	17,52		6,08	0,13	5,98	2,70	3,54	3,95	0,30				0,68	0,00	99,72
1006	53,91	0,84	15,50	3,93	3,06	0,12	7,05	4,13	4,24	2,70	0,89	0,40	0,02	1,27	1,74	1,00	100,80
1010	56,38	0,82	16,79	4,60	2,30	0,11	6,78	3,30	3,63	2,70	0,42	0,04	0,05	0,90	1,00	1,00	100,82
1011	54,88	0,90	16,84	3,40	3,27	0,16	7,43	2,50	3,63	2,45	0,61	1,89	0,04	0,50		1,00	99,50
6679	58,82	0,58	15,86	2,71	2,71	0,08	6,25	2,51	3,25	3,21	0,38			1,11	1,21	0,00	98,68
4743	61,18	0,51	16,07	2,37	2,37	0,09	5,95	3,05	3,50	3,10	0,26			0,65	0,73	0,00	99,83
61	59,85	0,50	16,80	3,40	1,62	0,09	5,29	1,97	3,34	3,18	0,32	0,13	0,03	0,50		2,90	99,92
36	58,10	0,61	16,58	3,26	2,96	0,17	6,17	2,63	3,87	3,06	0,53	0,60	0,10	0,32		1,80	100,76
23	57,02	0,82	16,63		7,03	0,11	6,38	2,92	3,70	3,28	0,40				1,71	0,00	100,00
2083	60,30	0,90	16,54		6,33	0,19	5,46	1,43	3,60	4,15	0,28				0,72	0,00	99,90
168	57,39	0,90	15,43	6,82	0,68	0,14	2,60	2,38	7,14	1,96	0,45	1,22	0,02	0,98		1,87	99,98
519	56,44	0,90	14,92	5,84	1,33	0,11	6,84	4,09	4,15	2,28	0,79	0,25	0,02	0,90		1,10	99,96
517	62,63	0,74	16,35	4,92	0,68	0,06	4,43	1,30	3,87	2,81	0,54	0,13	0,02	0,60		0,80	99,88
500	55,96	0,82	16,35	4,80	1,90	0,06	7,21	2,39	3,42	2,28	0,45	1,81	0,01	0,49		1,76	99,71
505	57,10	0,80	16,25	5,90	0,93	0,12	4,53	2,71	4,20	3,31	0,70	1,81	0,01	0,51		1,29	100,17
213	53,25	1,11	14,10	5,43	2,14	0,14	6,55	4,28	4,57	2,28	1,20	2,94	0,01	0,80		0,81	99,61
51	58,40	0,57	16,30	3,59	2,26	0,11	5,64	2,40	3,78	3,18	0,46	1,25	0,01	0,94		2,20	101,09
							VO	NOVO C	OMPLE	Х							
6342	60,00	0,88	17,06	3,35	1,13	0,09	6,70	1,62	3,63	2,94	0,37	0,39		1,33		1,05	100,54
6334	58,25	0,66	16,40	4,56	1,28	0,06	5,60	2,31	4,80	3,18	0,59	0,34	0,08	1,18		1,12	100,41
509	49,90	0,89	10,87	5,17	2,84	0,14	10,99	7,83	3,26	2,28	1,58	1,09	0,01	0,98		1,90	99,73
518	56,14	0,89	15,16	5,72	1,48	0,10	7,00	3,93	4,29	2,28	0,76	0,42	0,01	0,80		1,00	99,98
520	56,10	0,76	15,89	3,29	2,76	0,15	5,55	3,98	4,57	2,21	0,51	0,04	0,01	1,22		2,88	99,92
503	61,78	0,65	16,40	0,05	2,22	0,05	4,56	1,94	3,30	3,18	0,32	0,04	0,01	1,30		2,30	98,10
502	59,12	0,77	15,00	4,82	1,51	0,09	6,21	3,27	4,24	2,81	0,60	0,04	0,01	0,65	0,68	0,83	100,65
530	59,05	0,83	14,54	4,82	1,59	0,07	5,82	3,50	3,51	2,53	0,91	0,08	0,03	0,87	1,75	1,88	101,78
512	51,58	0,78	16,35	4,32	3,09	0,12	5,79	3,30	5,67	1,96	0,57	2,22	0,01	1,54		2,70	100,00
143M	55,90	0,80	15,50	4,23	2,07	0,12	7,15	3,86	3,72	3,44	0,54			1,05		1,43	99,81
209M	60,06	0,73	16,50	3,66	0,99	0,09	4,15	2,32	4,21	3,25	0,28			1,18		2,20	99,62
160M	58,02	0,76	16,30	3,05	2,56	0,13	7,03	3,35	4,34	3,23	0,32			0,46		0,62	100,17
121M	54,29	0,90	15,30	5,26	1,83	0,12	7,90	4,44	4,07	2,86	0,48			0,81		1,21	99,47
121'M	54,57	0,87	15,04	4,51	2,63	0,10	7,88	4,35	4,35	2,63	0,44			0,80		1,35	99,52
		1	1	1	1		KC	LETZ C) OMPLE	(1			1	1		1
6110	48,56	0,88	16,51	5,75	2,36	0,14	7,48	5,55	2,17	4,60	0,87	0,13		3,58		3,68	102,26
42	48,30	0,87	16,07	5,20	2,72	0,13	7,58	4,93	1,37	5,74	0,80	0,04		4,62		4,85	103,22
510	58,93	0,72	15,58	3,98	2,05	0,09	5,18	3,54	4,20	2,81	0,52	0,04	0,01	0,95	1,02	1,24	100,86
527	57,50	0,83	16,53	4,46	2,26	0,11	4,96	3,04	3,38	3,18	0,44	0,84	0,03	0,87		1,34	99,77
504	57,05	0,85	16,13	5,45	1,40	0,10	6,35	3,50	2,70	2,53	0,47	0,04	0,01	2,00		1,47	100,05
506	60,40	0,67	16,30	3,49	2,26	0,11	4,80	2,48	2,06	4,05	0,44	0,04	0,01	0,70		2,24	100,05

Tabe. 1

- Georgiev, V., P. Milovanov. 2006b. Magmatic Lithostratigraphic units in the Eastern Rhodopes. II. The Sarnitsa group. – *Minno delo I Geologia Journal, 61, 5, 36-40 (in Bulgarian with English abstract).*
- Dabovski, C., Harkovska, A., Kamenov, B., Mavrudchiev, B., Stanisheva-Vassileva, G., Yanev, Y. 1991. A geodinamik model of the Alpine magmatism in Bulgaria. – *Geol. Balc.* 21, 4, 3-15.
- 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., Sreckeisen, A., Zanetin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Pertology*, 30, 1299-1312.
- Milovanov, P., V. Georgiev, P. Monchev. 2005. K-Ar dating of the Paleogene Late extensional magmatism in the Eastern Rhodopes. – Ann. Univ. Min. Geol., 48, 1, 95-100.
- Марчев, П. 1985. Петрология на палеогенските вулканити в района на с. Безводно и Русалско, Кърджалийско.- Дис. кгмн, С, СУ "Св. Кл. Охридски", 327 с.

Recommended for publication by Department of

Mineralogy and Petrography, Faculty of Geology and Prospecting

OIL AND GAS RESOURCE ASSESSMENT METHODOLOGIES: IMPLEMENTATION IN NATIONAL BALANCE ESTIMATION AND COMPANY'S EXPLORATION POLICY

Jordan Jordanov¹, Ivan Darakchiev², Vasil Belogushev³

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

² Ministry of Economy and Energy, Sofia

³ Ministry of Environment and Waters, Sofia

ABSTRACT. Resource assessment methodology has been discussed in many papers during the last 10-15 years and has been described as key issues in national balance estimation, as well as in national exploration and production policy making.

Geologic prospect and play assessment procedure involves two basic steps: play existence and delineation, in terms of number and size of prospects included; and second - if the constructed model is riskier than certain level.

The bases of the process lie on the concept of hydrocarbon systems, in conjunction with play concept as developed by number of authors (Dow, Perrodon, Demaison, Magoon). The main instrument to decide this problem is implementing the exploration probability analysis, which requires an evaluation of those geological factors that are critical to the discovery of recoverable quantities of hydrocarbons in traced prospects. Following factors are defined as critical and must be evaluated with respect to the resource assessment

- presence and quality of reservoir rocks;
- presence and quality of mature source rocks, as well as hydrocarbon expulsion, migration and charge processes;
- presence and trap mechanism;
- retention of hydrocarbons after accumulation;

Implementing a widely known probability techniques, many petroleum companies all over the work) registered remarkable growth to their proved reserves. These results encourage authors to believe that this is the only way to reduce the geologic risk in Bulgarian exploration practice.

МЕТОДИЧЕН ПОДХОД ПРИ ОЦЕНКА НА РЕСУРСИТЕ ОТ НЕФТ И ГАЗ; ПРИЛОЖЕНИЕ ПРИ ИЗГОТВЯНЕ НА НАЦИОНАЛНИЯ БАЛАНС И ПРОУЧВАТЕЛНАТА СТРАТЕГИЯ НА КОМПАНИИТЕ

Йордан Йорданов¹, Иван Даракчиев², Васил Белогушев³

- ¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700
- ² Министерство на икономиката и енергетиката, София

³ Министерство на околната среда и водите, София

РЕЗЮМЕ. Методичният подход при оценка на ресурсите от нефт и газ е обект на обсъждане в множество публикации, в които еднозначно се приема като ключов проблем при изготвяне на националните енергийни баланси, както и при изграждане на стратегия за концесионна политика. Обект е и на обсъждане и от компаниите за търсещи работи за нефт и газ.

В настоящата работа е описана процедура за оценка на ресурсите от нефт и газ на лицензионни блокове, зони и отделни площи, която включва два основни етапа: оценка на вероятността обектът да има характеристиката на нефтогазоносна зона (в смисъла на "petroleum play") и доколно представения модел за пресмятане на ресурсите е близък до реалността, с оглед пресмятане на риска.

Основата за оценката лежи върху принципите на петролно системния подход. Поради обстоятелството, че в аналитичния процес се оперира с показатели, които се съпровождат с неопределеност, тя е извършена в съчетание с вероятностния анализ, на основата на симулации с Монте Карло техники. Обект на конкретна оценка са онези показатели, които имат ключова роля в образуването на нефт и газ и формирането на техните находища:

- оценка за присъствието и ефективността на резервоарни фациеси;
- о оценка за присъствието и качеството на генериращи скали, както и протичането на миграционни и акумулационни процеси;
- оценка на условията на капаниране на въглеводородните продукти;
- оценка на условията за тяхното съхраняване.

Описаният методичен подход е приложен върху зоната на развитие на Северобългарското издигане, както и на премера на конкретно находище – Долни луковит. Получените резултати ни дават основание да смятаме, че възможностите на петролно-системния подход предоставят възможност част от неизбежния геоложки риск да бъде редуциран.

Introduction

Hydrocarbon potentials of Bulgarian Phanerozoic section have been periodically assessed on the classical A, B, C, D approach (Georgiev, 1996; Въчев, 1998; etc.) and the results have been good accepted. Now this approach is often omitted because of its predominantly qualitative outcomes. This paper presents an authors attempt to implement modern analytical techniques for prospect and play resource assessment, using the petroleum system concept. The purpose is not to create a completely new approach but to adapt existing techniques to the Bulgarian exploration practice using all available data.

Resource assessment methodology has been discussed in many papers during the last 10-15 years and has been described as key issues in national resources estimation, as well as in national exploration and production policy making (White, 1993; Rose, 1987; MacKay, 1996; Meneley et al., 2003; Otis and Schneiderman, 1997 etc.). However, experience has also shown that geologists perform resources assessment in a very subjective manner, which should be avoid as much as possible, giving the priority to procedures, guarantee repeatable and reliable results.

Common Questions of companies and natural policy makers

Following the common petroleum exploration practice, three basic questions are to be answered:

- What is the probability (chance) of at least one conventional oil and gas field to present within the assessing (licensed) area;
- How mach oil and gas present within the play outline, expressed as field-number and field size distribution (probability volumetric curve)?
- Haw much oil and gas present in individual prospect (prospect probability volumetric curve).

There are number of papers discussing approaches (White & Gehman, 1978; Конторович et al., 1981, 1988; Шпильман, 1982 etc.) but currently the answers are being given depending on analyses and evaluation of those geological factors that are critical to oil and gas field formation and the exploration techniques used for discovery of recoverable hydrocarbons in traced prospects. This process is known as geological risk assessment, acting as a base for further engineering planning. The process is based mainly on the concepts of petroleum systems and their plays (Magoon and Dow, 1994). In Bulgarian practice this concept was highlighted by Йорданов (1996), Георгиев и Дабовски (1997), Georgiev (2002).

Petroleum system-play-prospect concept in resource assessment

Definitions

In order to avoid some misunderstanding, following definitions are accepted:

<u>Petroleum system –</u> includes all those geological elements and processes that are essential for an oil and gas deposit to exist in nature (after Magoon, 1988). A petroleum system encompasses a pod of active source rock and all genetically related oil and gas accumulations.

Play and prospect

A **play** is a group of prospects (potential field sites and any known related fields having common oil and gas sources, migration relationships, reservoir formation, seals and trap types (White, 1993 etc.).

A **prospect** is a potential trap that must be evaluated by drilling to determine whether it contains commercial quantities of petroleum. Once drilling is complete, the term "prospect" is dropped; the site becomes either a dry hole or a producing field. In Bulgarian, as well as in Russian papers "play" is close (but not completely equal) to "oil and gas zone" (нефтогазоносна зона) and prospect is almost equal to "structure" (перспективна структура, капан, ловушка).

Risk and uncertainty in exploration

In recent years National Geological Institutions have encouraged implementation of a petroleum system-play concept approach for resources assessment, involving the process of hydrocarbon origination and distribution. As we mentioned above, a play includes number of prospects of postulated distributions of hydrocarbon volumes. Their number and size distribution are important not only to predict the recoverable quantities but also for prospect economics.

As is well known, in exploration for oil and gas we are dealing with a great scale of uncertainty and risk that appears as inherent factors and requires a probabilistic treatment. Uncertainty is common used to characterize the fact that any outcome of a decision (process) is not precisely known, with the degree, described by probability that it will occur. Consequently, assessed probability refers to the adequacy of the geological model that will give the existence of at least one field, larger than a practical minimum size. This value ranges from 0 to 1.0 and define the success "chance" of discovery. As a rule this value is less than 1 and the rest part of probability value determines the geologic risk, i.e. "chance" of failure or not having a field, respectively discovery larger than a specified practical minimum size:

1 – Probability = Risk

Therefore uncertainty and risk assessment concept permit application of the traditional mathematical analyses, leading to more objective estimation of the petroleum resources, as well as more objective comparison between deferent plays and prospects, occurring in deferent areas. Below will be described approaches to resource assessment for prospect and plays separately, implementing the mentioned above probabilistic concept.

Prospect resource assessment procedure

The full process of prospect evaluation, based on petroleum system-play concept, incorporates number of investigation, focused on assessment of geological risk, estimation of hydrocarbon volumes, engineering, economics and postdrill review. In this work we discus only the part of it, encompasses the hydrocarbons-in-place estimation. Common approach to answer this topic requires the expectation curve to be obtained, using the probability distributions of the responsible factors, as well as geological risk assessment (Fig.1,2). Combining volumetric calculations with chance of success ("risk factor") there could be construct the final probabilities curve (risked), giving the opportunity to extract the traditional probabilistic values (Pr.-90%; Pr.-50%, Pr.-10 % or others (Capen, 1996) for further prospect appraisal.

Volumetric estimation

The calculation of hydrocarbons-in-place can be applied to undrilled prospects implementing the classical volumetric equation, multiplying: (i) net pay volume; (ii) average porosity; (iii) average oil saturation; (iv) trap fill; (v) 1/formation volume factor; (vi) conversion factor (Fig.2).

Procedure for gas-in-place is similar.



Fig. 2. Prospect resources assessment procedure

In practice, the potential volume distribution of hydrocarbons is made by multiplying the above parameters in a Monte Carlo simulation, running many trials (see appendix at the end). Each volume factor is entered into the simulation as a range of values, reflecting its uncertainties. As a final result assessor obtains the <u>unrisked</u> potential curve of hydrocarbon–in-place distribution.

Risk assessment

Risk factors definition

There are two approaches to determine the main risk factors, controlling the hydrocarbon occurrences: theoretical and practical. The first approach evolves from petroleum systemplay concept, where four processes (generation, migration, entrapment and preservation or retention) are assumed to have taken basically position. These processes depend on group of main factors, which should be characterized by number of individual, independent parameters for personal judgment (assigned a value) of:

- Presence and quality of reservoirs (Probability of reservoir Pr);
- Presence and quality of source rocks (Probability of source rock – Psr);
- Traps, seals and timing (sequence of time between generation, migration and trap formation (Probability of trap and seal – Pt&s);
- Preservation (Probability of preservation Ppr).

The second approach arises from company's exploration practice. Following the worldwide geologic experience as a systematic basis for prospect appraisal and negative results Rose (1987) and others have tried to answer the question: Which geological factors are responsible for most dry holes? Rose (1987) processing the data available, has concluded;

- The main cause is incorrect structural interpretations – 43% of dry holes;
- ✓ Incorrect reservoir prediction- 40% of dry holes;
- ✓ Incorrect prediction of trapping conditions 13%;
- ✓ Wrong prediction of hydrocarbon charge only 3%.

Discussion over these results leads to the following outcome: if the source rock exists, the chief cause for dry holes is incorrect structure interpretations and reservoir prediction – 83%. The same is in power for Bulgarian exploration practice. Considering geological risk factors, derived from the worldwide experience, one could determine the same group of factors which are responsible for negative results as listed above: structural interpretation, i.e. trap existence; reservoir prediction – presence of reservoir rocks; existence and quality of trapping and source rock characteristics. In this paper we are using the described above four main factors determining the geological risk of hydrocarbon discovery.

Risking prospect procedure

The probability of discovery is a value that is calculated on objective judgment of listed above group of main factor with respect to the presence and effectiveness, depending on case geological features. For examples the reservoir factors is assigned the value for existence of proper facies and value for effectiveness of porosity, permeability etc. It is clear that absent of one or more of these factors will result in a "dry hole". In practice multiplying the group of main factors assessor obtains the value of adequacy – assessed risk. Hence, combined (weighted) probability (**Ps**) of occurrence (discovery, or commercial accumulation) is equal to:

Ps = Pr * Psr * Pt&s * Ppr

It is absolutely necessary these factors to be independent (correlation = zero). Otherwise another procedure should be implemented for probability calculation, described in many mathematical handbooks.

Risked expectation (potential) curve construction

The next step is <u>risked</u> potential curve construction, employing the calculated risk (chance of prospect to exist). In practice the <u>unrisked</u> curve should be discounted in order to reduce each potential by combined risk value. In our example each potential is reduced to 0.04.

Play resource assessment procedure

Given a licensed area that includes one or several postulated (conceptual) or frontier plays. Then the question how much hydrocarbons exist in-place in any conventional oil or gas field is answered implementing number of estimating techniques. These techniques depend on geological knowledge level and are described in many works (White and Gehnman, 1978; Baker et al., 1984, White, 1993; USGS, 2000; Meneley et al., 2003; Rostirolla et al., 2003; Shanley et al., 2004; Fugelli and Olsen, 2005 etc.). Russian papers are also published (Трофимук, 1989 and others). The ideal procedure is to aggregate all the individual prospect assessments. But very often the lack of data dictates another type of performance. Often the method of geochemical material balance is implemented covering all the key genetic factors. Because of difficulties to reconstruct all the elements of a system, it can not replace the more empirical approaches to assessment. Recently a straightforward way to assess undiscovered oil and

gas resources is based on the estimation of the number and size distributions of potential fields in a play, using the modern Monte Carlo simulation. The procedure in its simplest form states that:

Play Hydrocarbon volume (in bbl) = Numbers of prospects * Success ratios (potential fields from all the prospects) * Potential field size (in bbl)

The advantages of this approach are that it deals with prospect-play relation, as elements of a petroleum system (Fig.1). Additional requirement for accepted method, besides field number and size distribution is the estimate of chance that a play really exists (i.e. the chance of existence of at least one field of minimum size within the play outline). The steps and elements of the implemented procedure are shown in Fig.1, 2. They include two branches: volumetric part and risking evaluation. Implementing Monte Carlo simulation techniques, a "risked" potential curve of a play hydrocarbon volume is built.

Play fields-size and field- number distribution

Fields-size distribution

In practice there are three ways for building the field-size distribution:

- Using the geological analogy (look-alike approach) going from known to new area;
- The play already exist and plotting its representative prospects one can assessed the expected volumetric distribution;
- Monte Carlo simulation of the prospects volumetric factors to produce a distribution of possible field sizes.

In play assessment example we used data from Bulgarian exploration practice (historical reports) and Rumanian ones (Popesku, 1995) a proper distribution is built.

The assessor should take into account that hydrocarbon (HC) volume distribution curve must be constructed over principals of economically minimum size. HC economic volume is critical and determines the geological success (positive outcome or discovery). There are different approaches to determine the minimum prospect size. Otis and Scneidermann (1997) propose to be one capable of testing a stabilized flow; White (1993) - 50K to 50M bbl. In our consideration we choose 6M bbl, which is equal approximately to 0.9 million tone of oil, keeping in mind increasing prices of crude oil currently. It means that assigned values to the main parameters in whole assessment procedure, one should dealing with degree of adequacy according to the accepted minimum size – i.e. how close is the porosity for example to those values that are needed prospect to include at least 6M bbl.

Field-number distribution

The approach is similar to those techniques, described as apt to field-size. In completely postulated plays (virgin frontiers) it would be helpful to implement look-alike field density – for example number of field per unit area and others. In our case example we employ the distribution of the prospects in a play, times the future success ratio.

Success ratios definition

Special attention should be addressed to success ratio definition. It reflects an independent geologic risk among prospects and should be assess separately from the play chance attributes. It simply presents the number of prospects

in a play which is expected to become fields. Generally it ranges from 0.3 to 0.9. Typically for a new play which is presented by positive marginal factors the success ratio equals 0.25-0.3. It means that if we have 4 prospects - one of them is expected to register discovery (be larger than the accepted minimum size of 6M bbl).

Play chance assessment procedure

The play chance means – the chance of occurrence of at least one field of minimum size. After Baker et al. (1984), White (1993) and others it must be calculated incorporating risks arising factors from regional geologic settings (regional play chance or marginal probability - **RPC**), as well as those related to the prospects if they are limited. These factors are independent and refer to the conditional probability. Inherent for a play factors are: reservoir facies, source rock, retention; inherent for each prospect – porosity, trap, seal, migration. Multiplying regional play chance (**RPC**) to play success ratio (**PSR**) equals the value of *average prospect chance* (**APC**), i.e. the chance of occurrence of at least one field of at least minimum size (potential volume of 6M bbl) within the play outline:

APC = RPC * PSR

Analyzing more then 80 basins White (1993) summarized that operating with the *average prospect chance* one could estimate the play resources, compatible with those, obtained by summing individual prospect assessment.

As the success outcome within a play requires all the regional factors to be adequate, *play chance* may easy to be understood asking: What is the chance that reservoir rock porosity is adequate to provide hydrocarbon saturation for of at least one field of at least minimum size. Proceeding in proper way with other common factors one could estimate the group chance of adequacy (see appendix at the end). In general sense, if the play chance is not zero and given unlimited number of prospects, then at least one of them is expected to cover requirements for success (discovery). Following White (1993) in productive plays "play chance" is equal to 1.00. For new areas it ranges from 0.3 -0.9, which means that lower cutoff hesitate near 0.3.

In practice the average prospect chance value reflects play risk estimate. For example if the unrisked mean of potential volume is 500M bbl, and *average prospect chance* is 0.5, then "risked mean" equals 250M bbl.

Conclusions

There is no methodology for resource assessment covering only advantages. The described above technique based on petroleum system-play concept is an attempt to reduce the risk of failure exploring a new area operating with probabilistic theory. Encouraged by the main petroleum companies as well as by governments implementing this approach the authors would like to be useful to those who are going to assess prospects and plays.

In order to improve the reliability of the mentioned method, efforts should be concentrated on key issues, and first of all on the personal judgment of the inherent uncertainties, concerning value assignment of those basic geologic factors, controlling generation, migration, trapping and retention of the petroleum, as well as the correct delineation of a play outline.

References

- Въчев, В. 1998. Въглеводородният потенциал на България. *Геол. и мин. ресурси*, 2-3, 24-29.
- Георгиев, Г.,Н. Дабовски. 1997. Алпийски строеж и петролна геология на България. *Геол. и мин. ресурси,* 8-9, 3-7.
- Йорданов, Й. 1996. Още нещо за понятието "Petroleum System. *Геол. и мин. ресурси,* 4, 30-34.
- Конторович, А. Э., Э. Э. Фотиади, В. И. Демин, В. Б. Леонтович, А. А. Растегин. 1981. Прогноз месторождений нефти и газа. М., Недра, 350.
- Трофимук, А. А. 1989. Оценка прогнозных ресурсов нефти в свете учения академика И. М. Губкина. Сб. Н. Трудов., Новосибирск, Наука, Сиб. Отделение, 72.
- Шпильман, В. И. 1982. Количественный прогноз нефтегазоносности. М., Недра, 215.
- Baker, R. A., H. M. Gehman, W. R. James, D. A. White. 1984. Geologic Field Number and Size Assessment of Oil and Gas Plays. AAPG Bull., 68, 4, 426-437.
- Capen, E.C. 1996. A consistent probabilistic Definition of reserves. SPE, Reservoir Engineering, February, 23-28.
- Georgiev, G. 1996. Outlook on the petroleum exploration and production of Bulgaria. *Geol. and min. resources*, 7, 3-8.
- Fugelli, E. M. G., T. R. Olsen. 2005. Risk assessment and play fairway analysis in frontier basin: Part 2 – Examples from offshore mid - Norway. AAPG Bull., 89, 7(Julay), 813-896.
- Georgiev, G. 2002. Exploration Results in the Black Sea Region (Bulgaria) and Petroleum System-Play Assessment. AAPG Annual Meeting, March 10-13, Houston, Texas.
- MacKay, J. A. 1996. Risk Management in International Petroleum Ventures: Ideas from a Hedberg Conference. AAPG Bull., 80, 12 (Decebmer), 1845-1849.
- Maggon, L. B., and W. G. Dow. 1994. The Petroleum system, in: *The petroleum system from source to trap*, AAPG Memoir 60, 3-24.
- Meneley, R., A. E. Carverley, K. G. Logan, R. M. Procter. 2003. Resource Assessment methodologies: Current status and future direction. AAPG Bull., 87, 4 (April), 535-540.
- Otis, R. M., N. Shneidermann. 1997. A Process for Evaluating Exploration prospects. AAPG Bul., 81, 7 (July), 1087-1109.
- Popesku, B. 1995. Romania's petroleum systems and their remaining potential. *Petroleum Geoscience*, 1, 337-350.
- Rose, P. 1987. Dealing with Risk end Uncertainty in Exploration: How Can We Improve? AAPG, 71,1 (January), 1-16.
- Rostirola, S. P., A. C. Mattana, M. K. Bartoszeck. 2003. Bayesian assessment of favorability for oil and gas prospects over the Reconcavo basin, Brazil. AAPG Bull., 87, 4 (April), 647-666.
- Shanley, K. W., R. M. Cluff, J. W. Robinson. 2004. Factors controlling prolific gas production from low-permeability sandstone reservoirs: Implications for resource assessment, prospect development, and risk analysis, APG Bull., 88, 8 (August), 1083-1121.
- USGS, 2000. World Petroleum Assessment 2000 description and results.
- White, D. 1993. *Geologic Risking Guide for Prospect and Plays*. AAPG Bull., 77,12 (December), 2048-2061.
- White, D. A., H. M. Gehman. 1978. *Methods of Estimating Oil and Gas resources*. AAPG Bull., 63, 12, 2183-2192.

Appendix Example of prospect and play resource assessment

Summary Sheet: NORTH BULGARIAN UPLIFT POSRULATED PETRLEUM PLAY AS A PART OF PALEOZOIC-CRATECEOUS PETROLEUM SYSTEM (After Popesku, 1995)

Total surface	7600 km ²
Prospect numbers:	
- structural type	17
- stratigraphy type	>10 (hypothetical)
	Total - 27
Possible source	Silurian black shale
rock	
Possible reservoir	Devonian carbonates
rock	Carboniferous clastic
Possible seals	Lower Paleozoic muds
Possible traps	Structural
	Stratigraphic, related to
	the major
	unconformities: C/P;
	P/T; T/J
Success ratio	0.25
accepted	



0.56

0.63

0.68

0.65

0.16

0.04

aluation	Number of prospects*s distribution, derived fror practice, multiplied in a (1000 trials, triangular "Unrisked" potent hydrocarbon volur (see below graph volu	uccess ratio*field size n Bulgarian exploration Monte Carlo simulation distribution) equals the ial curve of a play ne (in barrels o.e.) of probability vs. me)	uation	A. Reservoir A.1 Existence of reservoir facies A.2 Effectiveness A.3 Thickness B. Trap and Seal B.1 Clouse reliability B.2 Effectiveness C. Source rock C.1 Existence	0.8 0.7 1.0 0.7 0.9 1.0
tric ev	Observations	1000	g eval	C.2 Maturity C.3 Migration C.4 Time sequence	1.0 0.8 0.85
Volumet	"Unrisked" Mean "Risked" Mean	49.4M bbl o.e. 49.4*.04= 1.976M bbl o.e.	Riskin	D. Retention	0.65
	Minimum 5%	4.04M bbl o.e. 13M bbl o.e.		<u>Marginal probability</u> 0.56*0.63*0.68*0.65=0.16 <u>Success ratio – 0.25</u>	
	95%	108.5M o.e.		Average prospect chance - 0.25*.016 = 0.04 or 1: 25	

Cumulative Distribution



Summary Sheet: NORTH BULGARIAN OIL FIELD IN THE CENTRAL PART OF THE MOESIN PLATFORM EXPECTATION CALCULATIONS FOR HYDROCARBON IN-PLACE

	Mean	4350779
D rosport area m^2	Minimum	3922658
Frospect area, m	5 %	4060731
	95 %	4632378
	Maximum	4773417
	Mean	5.96
Not Dov. m	Minimum	2.85
Net Pay, III	5 %	3.87
	95 %	7.83
	Maximum	8.73
	Mean	0.12
Average Peresity	Minimum	0.01
Average Folosity	5 %	0.05
	95 %	0.19
	Maximum	0.23
	Mean	0.58
A ware as acturation	Minimum	0.15
Average saturation	5 %	0.29
	95 %	0.85
	Maximum	0.99
	Mean	0.73
Trop Fill	Minimum	0.50
Trap Fill	5 %	0.29
	95 %	0.85
	Maximum	0.89
	Mean	0.614
Surface Undrocarbon	Minimum	0.606
Surface Hydrocarboli	5 %	0.608
Volume Factor	95 %	0.621
	Maximum	0.625
	Mean	837971
Exported Undrogenham	Minimum	77803
	5 %	251061
Volume in-place, m ³	95 %	1747838
	Maximum	3379433

Prospect Name - Alfa

Postdrill Mean – ranges in 25 % according to predrill mean

Risk calculation	Probability of Reservoir capable of producing hydrocarbon in the minimum trapping geometry	Α	0.75
of the Prospect	Probability of adequacy of the data set (seismic, well and other source) outlining the tran	В	0.80
Chance	Probability of significant mature source rock, as well as favorable pathway for migration and accumulation	С	0.85
	Probability of conservation (retention)	D	0.90
	PROSPECT CHANCE = A*B*C*D = 0.46 OR 1:2.17 (GOOD CHANCE)		0.46
	"Risked" mean = expected mean* prospect chance = 837971*0.46 = 385467		

Recommended for publication by Department of

Geology and Prospecting of Mineral Deposits, Faculty of Geology and Prospecting

SYSTEMATICS AND CRYSTAL GENESIS OF CARBONATE MINERALS

Ivan Kostov, Ruslan I. Kostov

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

ABSTRACT. A dual crystal structural and paragenetic principle (Kostov, 1993; Kostov, Kostov, 1999) has been applied to a rational classification of the carbonate minerals. Main divisions (associations) are based on geochemically allied metals in the composition of these minerals, and subdivisions (axial, planar, pseudoisometric and isometric types) on their overall structural anisometricity. The latter provides both structural similarity and genetic information, as manner of crystal growth in geological setting under different conditions of crystallization. The structural anisometricity may conveniently be presented by the *c/a* ratio of the minerals with high symmetry and by the 2*cl*(*a+b*), 2*b*(*a+c*) and 2*a*(*b+c*) ratios for the low symmetry minerals. The respective ratios are less, nearly equal, equal or above 1.00. The unit cell or sub-cell and the corresponding structures are denoted as axial or A-type, pseudo-isometric or (I)-type, isometric or I-type and planar or P-type, notations which correspond to chain-like, framework and sheet-like structures, respectively ino-, tecto- and phyllo-structures. The classification includes three geochemical assemblages among the carbonate minerals – AI-Mg-Fe(Ni,Co,Mn), Na-Ca-Ba(K)-REE and Zn-Cu-Pb(U).

СИСТЕМАТИКА И КРИСТАЛОГЕНЕЗИС НА КАРБОНАТНИТЕ МИНЕРАЛИ

Иван Костов, Руслан И. Костов

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

РЕЗЮМЕ. Въз основна на двоен структурен и парагенетичен принцип (Kostov, 1993; Kostov, Kostov, 1999) е предложена рационална класификиция на карбонатните минерали. Главните раздели (асоциации) са базирани на геохимично свързани метали в състава на тези минерали, а подразделенията (аксиални, планарни, псевдоизометрични и изометрични типове) – на общата им структурна анизометричност. Последната дава идея едновременно за структурно подобие и генетична информация, например начин на кристален растеж в геоложка среда с различни условия на кристализация. Структурната анизометрия може да бъде представена от осното отношение *с/а* на минералите с висока симетрия или 2*c*/(*a+b*), 2*b*/(*a+c*) и 2*a*/(*b+c*) на минералите с ниска симетрия. Получените отношения ще бъдат по-малки, почти равни, равни или по-големи от 1.00. Елементарните клетки или субклетки и съответни структури се обозначават като аксиални или А-тип, псевдоизометрични или (I)-тип, изометрични или I-тип и планарни или Р-тип. Тези обозначения съответнита на верижни, скелетни и слоестоподобни структури, респективно ино-, текто- и филоструктури. В предложената класификация са включени три геохимични асоциации сред карбонатните минерали – AI-Mg-Fe(Ni,Co,Mn), Na-Ca-Ba(K)-REE и Zn-Cu-Pb(U).

INTRODUCTION

Crystal chemical approach to the classification of carbonate minerals has been applied in several specific to carbonates publications as well as in general mineralogical works (for example, Povarennykh, 1972; White, 1974; Effenberger et al., 1981; Zemann, 1981; 1989; *Carbonates…*, 1983; Railsback, 1999). The basic criteria used for classification of minerals are suitably summarized by Lima-de-Faria (1983), Strunz (1984) and Godovikov (1997). The majority of carbonate minerals are secondary products, formed during weathering or sedimentation. Hence most of them occur as aggregates, crusts, earthy or pulverant masses, rarely in crystals. Calcite is one of the restricted polygenetic representatives.

A dual crystal structural and paragenetic principle, worked out by the first of the authors (Kostov, 1960; 1965; 1968; 1977; 1993; Kostov, Kostov, 1999) has been applied to a rational classification of the carbonate minerals. Main divisions (associations) are based on geochemically allied metals in the composition of these minerals, and subdivisions (axial, planar, pseudoisometric and isometric) on their overall structural anisometricity. The latter provides both structural similarity and genetic hint, viz. manner of crystal growth in geological setting under different conditions of crystallization. The overall structural anisometricity may conveniently be presented by the c/a ratio of the minerals with high symmetry and by the 2c/(a+b), 2b/(a+c) and 2a/(b+c) ratios for the low symmetry minerals. The respective ratios are less, nearly equal, equal or above 1.00, the unit cell or sub-cell and the corresponding structures denoted as axial or A-type, pseudo-isometric or (I)-type, isometric or I-type and planar or P-type, notations which correspond to chain-like, framework and sheet-like structures, respectively ino-, tecto- and phyllo-structures.

The notations A, (I) and P offered are further enriched by adding as superscript the direction of structural anisometricity for the low symmetry minerals – A^c , A^b and A^a , (I)^c, (I)^b and (I)^a, and P^c, P^b and P^a. The A, (I) and P notations remain for the minerals with spindle symmetry. Use is made of the indices (*hkl*) of the crystal habit form and [*uvw*] symbols for elongation added as subscripts. Combinations of both indicate form and elongation.

Such type of systematic has been already applied to other mineral classes as well – oxide (Kostov, 1964), silicate (Kostov, 1975), sulphide (Kostov, Minčeva-Stefanova, 1982), phosphate and related (Kostov, 1986), sulphate (Kostov, 2000) and borate (Kostov, Kostov, 2002) minerals (for review of all classes of minerals see Kostov, 1993; Kostov, Kostov, 1999).

PROPOSED CLASSIFICATION OF CARBONATE MINERALS

Within about 220 carbonate minerals, axial, pseudoisometric and planar types are approximately equally represented. Important from a crystallochemical point of view are the triangular CO₃ groups in the carbonates, which, commanded by the size and peculiarities of the cations, may acquire different orientation. The general tendency is these groups to follow certain plane or axis of symmetry. Thus in the most important groups of calcite and aragonite, the oblate CO₃ groups are in the planes perpendicular to the *c* axis, in certain rare earth carbonates, exemplified by bastnasite, they are parallel to it. Within a plane these groups may be either equally or differently orientated, as in calcite-aragonite and the polymorphic minerals with composition $BaCa(CO_3)_2$ – barytocalcite, paralstonite and Alstonite (Kostov, Kostov, 1999).

Barytocalcite BaCa(CO₃)₂ is monoclinic $P2_1/m$, a 8.09, b 5.23, c 6.54 Å, β 106°05', Z=2, with perfect {210} cleavage, habit forms {100}, {111}, {131} and {210}, hinting on an axial A^c type mineral. Paralstonite BaCa(CO₃)₂ is trigonal P321, a 8.69, c 6.15 Å, Z=3, and alstonite BaCa(CO₃)₂ – triclinic C 1 or C1, occurring almost invariably as steep pseudohexagonal

C1, occurring almost invariably as steep pseudohexagonal bipyramidal crystals, due to repeated twinning on $\{110\}$. The position of the CO₃ groups in the three polymorphs differs in accordance with the coordination of the Ca and Ba atoms.

In the uranyl carbonates, the CO₃ groups are closely attached to the UO₂ group, forming thus rather stable $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$ and other less stable structural units. The uranyl coordination polyhedron is represented by obtuse hexagonal bipyramid, the equatorial corners of which are occupied by oxygen from the CO₃ groups, the polar oxygens of the uranyl linked to other cations. Rutherfordine (UO₂)CO₃, which is orthorhombic *Pmmn*, *a* 4.84, *b* 9.29 Å, *Z*=2, is a good example of uranyl carbonates, possessing a planar P^b type structure (cleavage on {010} corresponding to layered arrangement of the uranyl-carbonate groups), but occurring usually as fibrous crystals along either [001] or [100] zone. The following examples of different structural types among carbonate minerals can be introduced (Kostov, Kostov, 1999, with additions).

AXIAL TYPES

Nesquehonite MgCO₃.3H₂O is monoclinic-prismatic, P_{21}/n , a 7.68, b 5.39, c 12.00 Å, β 90°45', Z=4; originally considered to be orthorhombic. Judging from the unit cell parameters the mineral is axial of the A^b types, which is in accordance with its prismatic and acicular [010] crystals, as well as with its apparent {101} perfect cleavage. Forms observed are along the [010] zone. Originally it is found as stalactitic aggregates and incrustations, formed through dehydration from lansfordite MgCO₃.5H₂O. The latter is also monoclinic-prismatic, P_{21}/m , a 12.50, b 7.57, c 7.35 Å, β 101°49', its short prismatic crystals, rather enriched in forms, possessing perfect {100} and {001} cleavages. Thus, like nesquehonite, it is again an A^b type mineral. Such is also artinite Mg₂CO₃(OH)₂.3H₂O, monoclinic-

sphenoidal, C2, *a* 16.69, *b* 3.15, *c* 6.21 Å, β 99⁰45', Z=2, found usually as fibrous aggregates. Typical A^b type is loseyite (Mn,Zn)₇(CO₃)₂(OH)₁₀, monoclinic, A2/a, *a* 16.2, *b* 5.6, *c* 15.0 Å, β 95[°]24', with no observed cleavage, but with strongly elongated [010] lath-like crystals. The general tendency of habit variation of the three minerals is inferred to be A^b₍₀₁₀₎ \rightarrow A^b_i \rightarrow A^b_[010], with possible elongation of the first habit along the [001] and [100] direction.

Nahcolite NaHCO₃ is monoclinic-prismatic, $P2_1/n$, a 7.53, b 9.72, c 3.54 Å, β 93°19', Z=4. The mineral is distinctly axial A^c type, its prismatic to acicular [001] crystals modified usually by {110}, {120} and {010}. Additional forms observed are {101} and {111}, both corresponding to good cleavages. Artificially obtained crystals of the mineral are also prismatic A^c(110) with added forms {010} and {111}; increased supersaturation increses the significance of the {010} form and the elongation of the crystals along the [001] direction, single crystals transformed into contact or penetration {101} twins and finally into spherolites (Aslanyan et al., 1968).

Instructive A^c type is also fontanite Ca(UO₂)₃(CO₃)₄.3H₂O, orthorhombic, *Pmnm*, *a* 15.34, *b* 17.05, *c* 6.93 Å, exemplifying uranyl carbonates with chain-like arrangement of their atoms and CO₃ groups. With its {110} perfect cleavage gaylussite Na₂Ca(CO₃)₂.5H₂O, is also added to the A^C type minerals. It is monoclinic-prismatic, *C*2/*c*, *a* 14.35, *b* 7.78, *c* 11.21 Å, β 127°51', *Z*=4, and its crystals, however, are pseudooctahedral or elongated along [100].

Malachite Cu₂CO₃(OH)₂ is monoclinic-prismatic, P2₁/c, a 9.48, b 12.03, c 3.21 Å, β 98°42', Z=4. The structure of the mineral is presented by the oblate CO₃ groups placed parallel to the {201} plane, the copper atoms sited in a distorted octahedral coordination among oxygens and (OH) groups. Its perfect $\{\overline{2}01\}$ cleavage corresponds to the CO₃ layers, but its rare crystals are invariably fibrous or needle-like [001] with observed forms {110}, {100}, {010}, {001} and {201}. Common are twins on {100}. By its unit cell ratio 2c/(a+b) 0.30 malachite is a distinct A^c mineral. Occurs predominantly as mamillary, botryoidal and tuberose aggregates with radiate texture, the svmmetrv of which is described with spheroidal. hemispheroidal, conical and other similar forms.

ISOMETRIC AND PSEUDOISOMETRIC TYPES

Among the isometric carbonates are tychite $Na_6Mg_2(CO_3)_4(SO_4)$ and northupite $Na_3Mg(CO_3)_2CI$, both *Fd*3, *a* 13.90 and 14.02 Å, *Z*=8 and *Z*=16 respectively, and both occurring as octahedral crystals, as well as zaratite $Ni_3CO_3(OH)_4.4H_2O$, *a* 6.16 Å, *Z*=2.

Calcite and aragonite CaCO₃ are polymorphs, $R \ \overline{3}c$ and Pmcn space groups respectively, cerussite PbCO₃, together with witherite BaCO₃ and strontianite SrCO₃ are isostructural with aragonite. Isostructural with calcite are siderite FeCO₃, rhodochrosite MnCO₃, magnesite MgCO₃, spherocobaltite CoCO₃, smithsonite ZnCO₃ and otavite CdCO₃. Of lower

symmetry $R \overline{3}$, but again based on calcite structure are dolomite CaMg(CO₃)₂, ankerite Ca(Fe,Mg,Mn)(CO₃)₂ and kutnahorite (Ca,Mn,Mg,Fe)(CO₃)₂, their morphologies fitting that of calcite. Calcite, aragonite and their isostructural minerals form an isodimorphous series in which richest in forms are calcite and aragonite (Kostov, 1960).

Calcite CaCO₃ is ditrigonal-scalenohedral, $R \overline{3}c$, a 4.98, c 17.02 Å, Z=6; a_{rh} 6.37 Å, α 47°07' (the cleavage rhombohedral cell with 101°55'), Z=2. The structure of calcite can be presented by that of NaCl (halite) set up so that one of the four threefold axes is vertical and the structure then compressed along this threefold axis; the cube angle of 90° becomes 101°55'. By replacement of the sodium atoms in the so distorted NaCl lattice by calcium, and the chlorine atoms by triangular CO₃ groups, the structure of calcite is thus obtained. The flat CO₃ group follow planes perpendicular to the threefold axis. The true unit cell is evolved from such rhombohedral cell. Calcite, as known, is a widespread mineral paragenetic with different other minerals of origin ranging from magmatic, pegmatitic, hydrothermal, metasomatic, sedimentary and supergene (weathering) affiliations, thus providing hints for their genesis as well.

The structure of the dolomite group minerals is similar to that of calcite, but the distribution of the atoms along any threefold axis is alternately Ca and Mg (respectively Fe or Mn), which causes lowering of their symmetry. The perfect cleavage on $\{10\overline{1}\ 1\}$ corresponds to the weak bonds existing between the Ca atoms and CO₃ groups arranged in a three-dimensional chessboard manner. As predicted by the PBC theory $\{10\overline{1}\ 1\}$ corresponds to F faces as are the $\{100\}$ faces of NaCl (Hartman, 1982).

In contradistinction to the other carbonates, isostructural with calcite, for which up to about ten or fifteen crystal forms are registered, calcite is extremely rich in forms and habits, the forms exceeding 620. Apart from $\{0001\}$, $\{10\overline{1}0\}$ and $\{11\overline{2}0\}$, 5 dihexagonal prisms, 12 bipyramids, 28 positive and 56 negative rhombohedra, 128 positive and 96 negative scalenohedra have been counted (Brock, 1993). The most frequent and habit-modifying forms are $\{10\overline{1}0\}$, $\{01\overline{1}2\}$, $\{21\overline{3}1\}, \{0001\}, \{10\overline{1}1\}, \{02\overline{2}1\}, \{40\overline{4}1\}, \{11\overline{2}0\}, \{10\overline{1}2\}, \{$ $\{05\overline{5}4\}$, $\{03\overline{3}2\}$, $\{31\overline{4}2\}$, $\{35\overline{8}4\}$, $\{54\overline{9}1\}$ and $\{32\overline{5}1\}$. The crystal habit of calcite is extremely varied ranging from thin to thick tabular, flat rhombohedral usually with {0112}, obtuse to acute rhombohedral, cuboid, pseudooctahedral, scalenohedral and prismatic. Twinning on {0001} and {0112} is very common, on {1011} and {0221} rather rare. A structural analysis of the most commonly encountered habits of calcite extended Kalb's (1929) sequence with two other habits: {0001} \rightarrow {1011} \rightarrow {2131} \rightarrow {1010} + {0001} \rightarrow {1010} + $\{01\overline{1}2\} \rightarrow \{01\overline{1}2\} \rightarrow \{02\overline{2}1\}$ (Kashkai, Aliev, 1970).

Calcite morphology is presented on specimens from Fukuhara and Ashiomines, Japan, the first presented by calcite

veins, cutting contact-metamorphic limestone, the second by copper-lead-zinc ore veins and metasomatic deposits (Sunagawa, 1953). In both places the crystal habits of calcite run from tabular {0001} and flat rhombohedral $\{01\overline{1}2\}$ to pseudoisometric and finally to scalenohedral $\{21\overline{3}1\}$ or acute rhombohedral habits. The sequence in both sites is referred to continuous drop of the temperature or successive change in the pH of the solutions and selective adsorption of foreign ions on faces are accepted as an accidental habit-modifying factor.

Two generations of calcite habits varying from steep rhombohedral $\{40\overline{4}1\}$ to pseudooctahedral $\{40\overline{4}1\}$ + $\{0001\}$ and tabular $\{0001\}$ (reverse Kalb's order) is observed in cavities of mineralized Triassic dolomites in Bulgaria (Naidenova, Kostov, 1963). Most of the calcite crystals succeed acicular to fibrous aragonite, some of them perched on the latter.

Calcite (Iceland spar) crystals of economic significance displaying 25 different crystal forms and common twinning on $\{0001\}$, $\{01\overline{1}2\}$ and $\{02\overline{2}1\}$ from Siberian deposits in Russia have been subdivided into 4 main habit types: 1 – prismatic (pseudo quartz habit) with $\{11\overline{2}0\}$, the scalenohedron $\{35\overline{8}4\}$ and the rhombohedra $\{02\overline{2}1\}$ and $\{10\overline{1}1\}$; 2 – rhombohedral with $\{02\overline{2}1\}$ or $\{03\overline{3}2\}$ and additional $\{32\overline{5}1\}$, $\{12\overline{3}2\}$ and $\{31\overline{4}1\}$ forms; 3 – bipyramidal with $\{88\overline{1}\overline{6}3\}$, $\{21\overline{3}1\}$, $\{32\overline{5}1\}$ and $\{0001\}$ forms; and 4 – scalenohedral with dominating $\{35\overline{8}4\}$ and $\{53\overline{8}0\}$ or $\{12\overline{3}2\}$ and $\{11\overline{2}0\}$ forms (Andrusenko, 1971). The change of habits is presumed to have been triggered not by temperature, but by pressure and chemistry of the solutions.

Aragonite is orthorhombic-bipyramidal, Pncm, a 4.95, b 7.96, c 5.74 Å, Z=4. The difference in the structures of aragonite and calcite consists in the distribution of the calcium atoms: in calcite arranged in approximate cubic close packing, in aragonite - in hexagonal close packing. The CO3 oblate groups are parallel to (001) and sited between six calcium atoms, but are so placed, that while in calcite the oxygen touches two calcium atoms, in the case with aragonite each oxygen touches three calcium atoms. Distinct {010} cleavage, perpendicular to the longer b edge of the unit cell, hints on certain planarity but the morphological symmetry of the mineral is accepted as pseudoisometric (I)^c type, taking into account less distinct {110} and {011} cleavages. About 75 forms are quoted for aragonite crystals, prominent being {110}, {010}, {011}, {012}, {021}, {031}, {041}, {051}, {111}, {112}, {121}, {122}, {132}, {991}, {091} and {101} (compare Heijnen, 1986). Twinning on {110} is extremely common, by repetition leading to pseudohexagonal composite crystals, both of the contact and interpenetrant types. Thin polysynthetic lamellae are also observed inducing striations on {001}. Rather rare untwined crystals are usually short to long prismatic and acicular [001], i.e. (I)c_{(110)} \rightarrow (I)c_{[001]} types, the pseudohexagonal twins prismatic down to pseudoisometric or thick tabular composite crystals.

Isostructural strontianite SrCO₃ follows the morphology of aragonite, but for it simple crystals seem to be more frequent than twinned crystals, its habit more clearly ranging from thick tabular (I)^c₍₀₀₁₎ and pseudoisometic (I)^c_i to long prismatic and spear-like (compare Franke et al., 1984). Usually they are pseudohexagonal, but due to equal development of {110} and {010} forms. Twins, trillings, fourlings and polysynthetic crystals mimic those of aragonite. In contradistinction to aragonite strontianite displays almost perfect {110} and less perfect {021} cleavages. Witherite BaCO₃, also isostructural with aragonite, is found almost invariably as pseudohexagonal bipyramidal, twinned on {110} crystals, the twinned habits varying from flat to steeper bipyramidal (I)^c₍₀₂₁₎ types and long prismatic (I)^c₍₀₁₀₎ forms capped by pseudobipyramid – twinned {021} form.

Cerussite PbCO₃ is orthorhombic-bipyramidal, Pmcn, a 5.15, b 8.47, c 6.11 Å, Z=4. The mineral is isostructural with aragonite, again of the (I)^c type, with distinct {110} and {021} cleavages. More than 50 forms are registered on cerussite crystals most important being (observed rank): {010}, {110}, {111}, {021}, {001}, {012}, {100}, {011}, {130} and {102}. The crystal habit of cerussite is strongly modified, both as simple crystals and frequent {110} and less common {130} twins (see Lazarenko, Matkovskii, 1960). Distinct {110} and {021} cleavages with traceable cleavages on {010} and {012} add weight on the pseudoisometricity of the mineral, like the case is with all other minerals. While in the other aragonite type minerals the tendency of variation seems to follow the [001] direction, the crystal habits of cerussite tend to be tabular {010}, tabular {001}, pseudoisometric, prismatic [001] and prismatic [100] (compare Franke et al., 1981). Fine studies carried out on cerussite crystals from Hungary demonstrate the great variation of the crystal habits of this mineral (Tokody, 1926). Major forms observed on them are {010}, {110}, {021}, {012}, {130}, {100} and {111}, and up to 17 forms are guoted on a single crystal, richest in forms being the tabular habits.

Bastnäsite-(REE) (REE)CO3F is ditrigonal-bipyramidal, C 62c, a 7.16, c 9.79 Å, Z=6, Varieties are bastnäsite-(Ce). bastnäsite-(La) and bastnäsite-(Y). Its structure consists of layers of REE and F atoms parallel to {0001} alternating with sheets of CO₃ groups, axially arranged along the c axis. The structure with its c/a ratio is formally planar, but a sub-cell with halved c parameter turns it into a slightly axial type. Indistinct $\{10 \ \overline{1} \ 0\}$ cleavage, however fits pseudoisometricity, and for morphological purposes the mineral is accepted therefore as an (I) type. The crystals of bastnäsite-(REE) are mostly tabular $\{0001\}$ with observed additional forms $\{10\overline{1}0\}$, $\{11\overline{2}0\}$, $\{10\overline{1}3\}$, $\{10\overline{1}2\}$, $\{10\overline{1}1\}$ and $\{11\overline{2}2\}$. The tendency of the habit trend should run generally $(I)_{(0001)} \rightarrow (I)_i \rightarrow (I)_{(10\overline{1}0)}$, with increase of crystallization rate, modifications of the habits due also to admixed other cations and substitution of F for H₂O. Change of the pH of the solutions should also be taken into consideration.

Certain other REE carbonates are structurally and paragenetically related to bastnäsite-(REE). Such are parisite-(Ce) Ca(Ce,La)₂(CO₃)₃F₂, röntgenite-(Ce) Ca₂(Ce,La)₃(CO₃)₅F₃ and synchysite-(Ce) Ca(Ce,La)(CO₃) ₂F, the three or them based on the bastnäsite-(REE) structure, but with a repeat *c* parameter and space group -R3; for parisite-(Ce) *a* 7.18, *c*

84.1 Å, Z=18, for röntgenite-(Ce) *a* 7.13, *c* 69.4 Å, Z=9 and for orthorhombic synchysite-(Ce) *a* 7.11, *c* 54.7 Å, Z=18. Parisite-(Ce) possesses distinct to perfect parting on {0001}, due probably to alteration products or enhanced planarity of its structure. Its crystals (similar in habits for the other two minerals), however, are prismatic or acute hexagonal bipyramidal $\{11\overline{2}1\}$, modified by {0001}, $\{11\overline{2}0\}$, $\{10\overline{1}1\}$, $\{20\overline{2}1\}$, $\{50\overline{5}2\}$, $\{11\overline{2}3\}$ and analogous forms.

Similar both in structure and habits is cordylite-(Ce) Ba(Ce,La)₂(CO₃)₃F₂, hexagonal, with *a* 4.35, *c* 22.8 Å and *Z*=2, the crystals of which are short prismatic to equant, combinations of $\{10\overline{1}0\}$, $\{40\overline{4}5\}$, $\{10\overline{1}1\}$, $\{20\overline{2}1\}$, $\{40\overline{4}1\}$ and $\{0001\}$. Its occasional sceptre development, long prismatic topped by pseudoisometric hexagonal combinations of equally developed $\{40\overline{4}5\}$, $\{20\overline{2}1\}$ and $\{10\overline{1}0\}$ forms, obviously as a later generation, crystallizing under lower supersaturation, adds weight to the habit trend given for bastnäsite. Another REE carbonate, closely related to the enumerated minerals, is ancylite-(Ce) SrCe(CO₃)₂(OH).H₂O, which, however, is orthorhombic, occurring usually as pseudooctahedral crystals, combinations almost exclusively of $\{111\}$ and $\{120\}$ with no cleavage, hence pseudoisometric (I)^c type.

Phosgenite Pb₂CO₃Cl₂ is tetragonal-trapezohedral, *P*42₁2(?), *a* 8.15, *c* 8.87 Å, *Z*=4. With its *c/a* ratio 1.09, the mineral is typically of a pseudoisometric (I) type, it's pseudoisometricity underlined also by {001} and {110} distinct cleavages. In the structure of this mineral the Pb atoms are octahedral coordinated by four O and two Cl atoms, the CO₃ groups arranged almost parallel to the *c* axis. The crystals of phosgenite are usually thick tabular {001} or prismatic [001], less frequently bipyramidal {111}, forms added in such habits being {100}, {120}, {011}, {021} and {121}. The tendency of habit variations should run (I)₍₀₀₁₎ \rightarrow (I)_i \rightarrow (I)₍₁₁₀₎ respectively (I)₍₁₁₁₎.

Azurite Cu₃(CO₃)₂(OH)₂ is monoclinic-prismatic, *P*2₁/*c*, *a* 4.96, *b* 5.84, *c* 10.29 Å, β 92°24', *Z*=2. The structure of azurite is presented by Cu atoms in square coordinated by O and OH anions, the triangular CO₃ groups arranged approximately of two types: Cu(1) sited at the corners and in the centre of the (100) net of the unit cell, Cu(2) in pairs around the middle of (001) and (010) nets. Both copper atoms are surrounded by two oxygens and two hydroxyls. Each copper atom is surrounded by two oxygens and two hydroxyls. Each OH group is linked to three copper atoms, each oxygen of the CO₃ group linked with only one copper atom. Almost perfect cleavage on {011} and less perfect on {100} correspond to weak linkages in the structure. The latter is pronouncedly pseudoisometric (a sub-cell with halved *c* parameter is taken into consideration, the ratio 2*c*'/(*a*+*b*)=0.95, underlining an (I)^c type morphology).

The crystals of azurite are usually highly modified and display great variety of habit. Known are about 200 forms, most prominent being {110}, {001}, {010}, {100}, {102}, {111}, {013}, {013}, {011}, {\overline{1}01} and { $\overline{1}02$ }. Rare twins are quoted on { $\overline{1}01$ }, { $\overline{1}02$ } and {100}. Taking into account the structural scheme of azurite the differentiation of the principal crystal

habits of this mineral as presented by Brasseur (1931) can be accepted, but with added tabular habits. The trend of habit variation is thus envisaged as (I)^c(001), respectively (I)^c(102) \rightarrow (I)^c₁ \rightarrow (I)^c(001), respectively (I)^c(010) and (I)^c(100) (Kostov, Kostov, 1999). Increase of supersaturation, eventually change of pH and influence of adatoms should follow such proposed trend.

Donnayite-(Y) NaCaSr₃Y(CO₃)₆.3H₂O is triclinic, *P*1, *a* 9.00, *b* 8.99, *c* 6.79 Å, α 102°46', β 116°17', γ 59°59', *Z*=1, with no clear cleavage, and is taken as an (I)^b type carbonate. It occurs as tabular, pseudoisometric and prismatic crystals.

PLANAR TYPES

Trona Na₃(HCO₃)(CO₃).2H₂O is monoclinic-prismatic, *C*2/*c*, *a* 20.41, *b* 3.49, *c* 10.31 Å, β 106°20', *Z*=4. The mineral is with perfect {100} cleavage, fitting the longest *a* edge of the unit cell, hence with a planar P^a type morphology. Its crystals are frequently elongated [010], hinting on certain axiality along the *b* axis. Forms met are {100}, {001}, {101}, {304}, {111} and {211}. Of the P^a type carbonate is also hydrozincite Zn₅(CO₃)₂(OH)₂, monoclinic-prismatic, *C*2/*m*, *a* 13.45, *b* 6.31, *c* 5.36 Å, β 95°30', *Z*=2. The mineral is also with perfect {100} cleavage, but occurs in nature usually as earthy, spheroidal, stalactitic and other aggregates.

Lanthanite-(Ce) (La,Ce)₂(CO₃)₃.8H₂O is orthorhombicbipyramidal, a 9.52, b 17.1, c 9.02 Å, Z=4. The mineral is with perfect, almost micaceous {010} cleavage, and should be taken as a representative of the P^b type morphology. Its crystals are thin to thick tabular {010} as indicated by both cleavage and the longest b edge of the unit cell. Aurichalcite (Zn,Cu)₅(CO₃)₂.(OH)₆, also orthorhombic, is with perfect {010} cleavage like lanthanite, hence of the same type, but occurring mostly as lath-like crystals elongated [001] and flattened {010}. For both, lanthanite and aurichalcite, a morphological trend of the type P^b₍₀₁₀₎ \rightarrow P^b₁ \rightarrow P^b_[010] is assumed in accordance with the other such planar type minerals.

Adamsite-(Y) NaY(CO₃)₂.6H₂O is triclinic *P* $\overline{1}$, *a* 6.26, *b* 13.05, *c* 13.22 Å, *a* 91.17°, *β* 103.70°, *γ* 89.99°, *Z*=4, with a layered structure and perfect {100} cleavage, representing a P^c structural type. Hydrocerussite Pb₃(CO₃)₂(OH)₂ is hexagonal, *a* 8.99, *c* 23.8 Å, with perfect {0001} cleavage and thin to thick tabular, and steep bipyramidal crystals. Forms observed are {0001}, {10 $\overline{1}2$ }, {10 $\overline{1}4$ }, {10 $\overline{1}1$ } and {20 $\overline{2}1$ }. As a secondary product in lead ore deposits it occurs in association with other secondary lead carbonates and sulphates, sometime as rather large, well formed crystals. The mineral is a good example of planar P type carbonates with a trend of habit development: P₍₀₀₀₁₎ \rightarrow P_i \rightarrow P_{(10 $\overline{1}2$) \rightarrow P_{(10 $\overline{1}0$).}}

Leadhillite Pb(CO₃)₂(SO₄)(OH)₂, transitional to the sulphates, is monoclinic-prismatic, $P2_1/a$, a 9.09, b 11.57, c 20.74 Å, β 90°30', Z=8. Its crystals are markedly pseudohexagonal with perfect {001] cleavage, representing P^c type morphology. About 45 forms are recognized on its crystals, the habits of which vary from thin to thick tabular {001}, pseudorhombohedral {211} + { $\overline{1}$ 42} combinations, pseudohexagonal equant, rich in forms, and prismatic [001]. Reederite (Na,Mn,Fe)₁₅Y₂(CO₃)₉(SO₃F)Cl, is also a typical planar P type mixed carbonate-sulphite mineral, also hexagonal, *P* $\overline{6}$, *a* 8.77, *c* 10.75 Å, *Z*=1. The mineral is with perfect {0001} cleavage in accordance with the *c/a* ratio 1.23, less pronounced than that of hydrocerussite, the *c/a* ratio of which is 2.72, hence more typical planar representative.

CLASSIFICATION

In the proposed classification a list of known carbonatebearing minerals, for which names have been approved by the International Mineralogical Association's Commission on New Minerals and Mineral Names have been included (formulae by Mandarino, 1999; with additions). The carbonate-bearing minerals that contain two or more other anions, such as sulphate, borate, arsenate, arsenite, phosphate, or silicate, have not been included.

1. AI-Mg-Fe(Ni,Co,Mn) assemblages

1.1. Axial (A-type) structures Barringtonite MgCO₃.2H₂O Nesquehonite MgCO₃.3H₂O Langsfordite MgCO₃.5H₂O Artinite Mg₂(CO₃)(OH)₂.3H₂O Chlorartinite Mg₂(CO₃)Cl(OH).3(H₂O) Loseyite (Mn,Zn)(CO₃)₂(OH)₁₀ Hellyerite NiCO₃.6H₂O Kambaldaite NaNi4(CO3)3(OH)3.3H2O Dawsonite NaAI(CO₃)(OH)₂ Alumohydrocalcite CaAl₂(CO₃)₂(OH)₄.3H₂O Paraalumohydrocalcite CaAl2(CO3)2(OH)4.6H2O Sergeevite Ca₂Mg₁₁(CO₃)₉(HCO₃)(OH)₄.6H₂O Dresserite Ba₂Al₄(CO₃)₄(OH)₂.3H₂O Hydrodresserite BaAl₂(CO₃)₂(OH)₄.3H₂O Strontiodresserite SrAl₂(CO₃)₂(OH)₄.3H₂O Sahamalite-(Ce) (Mg,Fe)(Ce,La,Nd)₂(CO₃)₄ Holdawayite Mn₆(CO₃)₂(OH)₇(CI,OH)

1.2. Planar (P-type) structures Scarbroite Al₅CO₃(OH)₁₃,5H₂O Hydroscarbroite AI₁₄(CO₃)₃(OH)₃₆.nH₂O Pokrovskite Mg₂(CO₃)(OH)₂.0,5H₂O Hydromagnesite Mg5(CO3)4(OH)2.4H2O Manasseite Mg₆Al₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Hydrotalcite Mg₆Al₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Chlormanasseite Mg6Al2(CO3)(OH)16Cl2.4H2O Barbertonite Mg₆Cr₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Stichtite Mg₆Cr₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Sjögrenite Mg₆Fe₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Pyroaurite Mg₁₀Fe₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Coalingite Mg₆Fe₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Desautelsite Mg6Mn2(CO3)(OH)16.4H2O Indigerite Mg₂Al₂(CO₃)₄(OH)₂.15H₂O Brugnatellite Mg6Fe(CO3)(OH)13.4H2O Chlormagaluminite (MgFe)₄Al₂(OH)₁₂(Cl₂,CO₃).2H₂O Nullagingite Ni₂(CO₃)(OH)₂ Otwavite (Ni,Mg)₂CO₃(OH)₂.H₂O Takovite Ni₆Al₂(CO₃,OH)(OH)₁₆.4H₂O

Eardleyite Ni₆Al₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Reevesite Ni₆Fe₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Widgiemoolthalite Ni₅(CO₃)₄(OH)₂.4-5H₂O Comblainite Ni₆Co₂(CO₃)(OH)₁₆.4H₂O Gaspeite (Ni,Mg,Fe)CO₃ Quintinite-2H Mg₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Quintinite-3T Mg₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Caresite-3T Fe₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Charmarite-2H Mn₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Charmarite-3T Mn₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Charmarite-3T Mn₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Charmarite-3T Mn₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O

1.3. (Pseudo-)Isometric, (I) resp. I-type structures Eitelite Na₂Mg(CO₃)₂ Northupite Na₃Mg(CO₃)₂Cl Tychite Na₆Mg(CO₃)₂Cl Huntite CaMg(CO₃)₄ Tunisite NaCa2Al4(CO3)4(OH)8Cl Dashkovaite Mg(HCO₃)₂.2H₂O Baylissite K₂Mg(CO₃)₂.4H₂O Magnesite MgCO₃ Siderite FeCO3 **Rhodochrosite MnCO3** Spherocobaltite CoCO3 Dolomite CaMg(CO₃)₂ Ankerite Ca(Fe,Mg,Mn)(CO₃)₂ Kutnahorite CaMn(CO₃)₂ Norsethite BaMg(CO₃)₂ Zaratite Ni₃(CO₃)(OH)₂.4H₂O

2. Na-Ca-Ba(K)-REE assemblages

2.1. Axial (A-type) structures Kalicinite KHCO₃ Teschemacherite NH₄HCO₃ Wegscheiderite Na₅(CO₃)(HCO₃)₃ Nahcolite NaHCO3 Gaylussite Na₂Ca(CO₃)₂.5H₂O Trihydrocalcite CaCO₃.3H₂O Pentahydrocalcite CaCO₃.5H₂O Ikaite CaCO₃.6H₂O Brenkite Ca₂(CO₃)F₂ Barytocalcite BaCa(CO₃)₂ Defernite Ca₃CO₃(OH,CI)₄.H₂O Tuliokite Na₆BaTh(CO₃)₆.6H₂O Petersenite-(Ce) Na₄(Ce,La,Nd)₂(CO₃)₅ Shomiokite-(Y) Na₃Y(CO₃)₃.3H₂O Lokkaite-(Y) CaY4(CO3)7.9H2O Kukharenkoite-(Ce) Ba₂Ce(CO₃)₃F

2.2. Planar (P-type) structures Vaterite CaCO₃ Nyereraite Na₂Ca(CO₃)₂ Shortite Na₂Ca₂(CO₃)₃ Gregoryite (Na₂,K₂,Ca)CO₃ Rouvilleite Na₃Ca₂(CO₃)₃F Fairchildite K₂Ca(CO₃)₂ Bütschliite K₂Ca(CO₃)₂ Bütschliite K₂Ca(CO₃)₂ Calkinsite-(Ce) (Ce,La)₂(CO₃)₃.4H₂O Adamsite-(Y) NaY(CO₃)₂.6H₂O Lanthanite-(La) (La,Dy,Ce)₂(CO₃)₃.8H₂O Thermonatrite Na₂(CO₃).H₂O Trona Na₃(HCO₃)(CO₃).2H₂O Natron Na₃CO₃.10H₂O Kozoite-(Nd) Nd(CO₃)(OH) Galgenbergite-(Ce) Ca(Ce,Nd,La)₂(CO₃)₄.H₂O Kamphaugite-(Y) Ca(Y,REE)(CO₃)₂(OH).H₂O Kimuraite-(Y) CaY₂(CO₃)₄.6H₂O Weloganite Sr₃Na₂Zr(CO₃)₆.3H₂O Thomasclarkite-(Y) Na(Y,REE)(HCO₃)(OH)₃.4H₂O Mckelveyite-(Y) Ba₃Na(Ca,U)Y(CO₃)₆.3H₂O Gysinite-(Nd) Pb(Nd,La)(CO₃)₂(OH).H₂O Sheldrickite NaCa₃(CO₃)₂F₃.H₂O Rouvilleite Na₃(Ca,Mn,Fe)₂(CO₃)₃F Huanghoite-(Ce) BaCe(CO₃)₂F Zhonghuacerite-(Ce) Na₃Ce₂(CO₃)₄F

2.3. Pseudo-Isometric, (I)-type structures Zabuyelite Li2CO3 Natrite Na₂CO₃ Calcite CaCO₃ Aragonite CaCO₃ Strontianite SrCO3 Witherite BaCO₃ Pirssonite CaNa₂(CO₃)₂.2H₂O Monohydrocalcite CaCO₃.H₂O Zemkorite (Na,K)₂Ca(CO₃)₂ Alstonite BaCa(CO₃)₂ Paralstonite BaCa(CO₃)₂ Olekminskite Sr(Sr,Ca,Ba)(CO₃)₂ Ewaldite Ba(Ca,Y,Na,K)(CO₃)₂ Benstonite Ba₆Ca₇(CO₃)₁₃ Carbocernaite (Ca.Na)(Sr.Ce.Ba)(CO₃)₂ Burbankite (Na,Ca)₃(Sr,Ba,Ce)₃(CO₃)₅ Calcioburbankite (Na,Ca)₃(Sr,Ba,Ce)₃(CO₃)₅ Khanneshite (Na,Ca)₃(Ba,Sr,Ce,Ca)₃(CO₃)₅ Remondite-(Ce) Na₃(Ce,La,Ca,Na,Sr)₃(CO₃)₅ Ancylite-(Ce) SrCe(CO₃)₂(OH).H₂O Ancylite-(La) Sr(La,Ce)(CO₃)₂(OH).H₂O Calcio-ancylite-(Ce) (Ca,Sr)Ce₃(CO₃)₄(OH)₃.H₂O Calcio-ancylite-(Nd) Ca(Nd,Ce,Gd,Y)3(CO3)4(OH)3.H2O Bastnäsite-(Ce) (Ce,La)(CO₃)F Bastnäsite-(La) (La,Ce)(CO₃)F Bastnäsite-(Y) (Y,Ce)(CO₃)F Hydroxylbastnäsite-(Ce) (Ce,La)(CO₃)(OH,F) Hydroxylbastnäsite-(La) (La,Ce)(CO₃)(OH,F) Hydroxylbastnäsite-(Nd) (Nd,Ce,La)(CO₃)(OH,F) Parisite-(Ce) Ca(Ce,La)₂(CO₃)₃F Parisite-(Nd) Ca(Nd,Ce,La)₂(CO₃)₃F Röntgenite-(Ce) Ca2(Ce,La)3(CO3)5F3 Synchysite-(Ce) Ca(Ce,La)(CO₃)₂F Synchysite-(Nd) Ca(Nd,La)(CO₃)₂F Synchysite-(Y) Ca(Y,Ce)(CO₃)₂F Cordylite-(Ce) NaBaCe₂(CO₃)₄F Donnavite-(Y) NaCaSr₃Y(CO₃)₆.3H₂O Horvathite-(Y) NaYCO₃F₂ Stenonite (Sr,Ba,Na)₂AlCO₃F₅ Barentsite Na7AIH₂(CO₃)₄F₄ Montroyalite Sr₄Al₈(CO₃)₃(OH.F)₂₆.10-11H₂O

3. Zn-Cu-Pb(U) assemblages

3.1. Axial (A-type) structures Malachite Cu₂(CO₃)(OH)₂
Glaucosphaerite (Cu,Ni)₂(CO₃)(OH)₂ Loseyite (Mn,Zn)7(CO3)2(OH)10 Sclarite (Zn,Mg,Mn)₄Zn₃(CO₃)₂(OH)₁₀ Shannonite Pb₂O(CO₃) Schuilingite Pb3Cu2Ca6(CO3)8(OH)6.6H2O Sharpite (UO₂)(CO₃).H₂O Bayleyite Mg₂(UO₂)(CO₃)₃.18H₂O Swartzite CaMg(UO2)(CO3)3.12H2O Zellerite Ca(UO₂)(CO₃)₂.5H₂O Metazellerite Ca(UO₂)(CO₃)₂,3H₂O Urancalcarite Ca(UO₂)₃CO₃(OH)₆.3H₂O Voglite Ca₂Cu(UO₂)₂(CO₃),14H₂O Fontanite Ca(UO₂)(CO₃)₄.3H₂O Oswaldpeetersite (UO₂)₂(CO₃)(OH)₂.4H₂O Astrocyanide-(Ce) Cu₂(Ce,Nd,La)(UO₂)(CO₃)₅(OH)₂.1,5H₂O Szymanskiite Hg10Ni6(CO3)12(H3O)8.3H2O

3.2. Planar (P-type) structures Hydrozincite Zn₅(CO₃)₂(OH)₆ Aurichalcite (Zn,Cu)5(CO3)2(OH)6 Claraite (Cu,Zn)₃(CO₃)(OH)₄.4H₂O Zaccagnaite Zn₄Al₂(CO₃)(OH)₁₂.3H₂O Chalconatrite Na₂Cu(CO₃)₂.3H₂O Cuproartinite (Cu,Mg)₂(CO₃)(OH)₂.3H₂O Glaukosphaerite (Cu,Ni)₂(CO₃)(OH)₂ Kolwezite (Cu²⁺,Co)₂(CO₃)(OH)₂ Mcquinnessite (Mg,Cu²⁺)₂(CO₃)(OH)₂ Rosasite (Cu²⁺,Zn)₂(CO₃)(OH)₂ Zincrosasite (Zn,Cu²⁺)₂(CO₃)(OH)₂ Decrespingnyite-(Y) (Y,REE)₄Cu(CO₃)₄Cl(OH)₅.2H₂O Rutherfordine (UO₂)(CO₃) Blatonite (UO₂)(CO₃),H₂O Joliotite (UO₂)(CO₃).2H₂O Cejkaite Na₄(UO₂)(CO₃)₃ Liebigite Ca₂(UO₂)(CO₃)₃.10H₂O Rabbittite Ca₃Mg₃(UO₂)₂(CO₃)₆.18H₂O Wyartite Ca₃U(UO₂)₆(CO₃)₂(OH)₈.4H₂O Znucalite CaZn12(UO2)(CO3)3(OH)22.4H2O Widenmannite Pb₂(UO₂)(CO₃)₃ Hydrocerussite Pb₃(CO₃)₂(OH)₂ Plumbonacrite Pb₁₀(CO₃)₆O(OH)₆ Petterdite PbCr₂(CO₃)₂(OH)₄.H₂O Dundasite PbAl₂(CO₃)₂(OH)₄.H₂O Barstowite Pb₄(CO₃)Cl₆.H₂O Bismutite Bi₂O₂(CO₃) Kettnerite CaBi(CO₃)OF Beyerite CaBi₂(CO₃)₂O₂ Clearcreekite Hg₃(CO₃)(OH).2H₂O Peterbaylissite Hg₃(CO₃)(OH).2H₂O Astrocyanite-(Ce) Cu₂(Ce,Nd,La)₂(ÚO₂)(CO₃)₅(OH)₂.1,5H₂O Shabaite-(Nd) Ca(Nd,Sm,Y)2(UO2)(CO3)4(OH)2.6H2O Bijvoetite-(Y) (Y,Dy)2(UO2)4(CO3)4(OH)6.11H2O

3.3. Pseudo-isometric, (I)-type structures Smithsonite ZnCO₃ Minrecordite CaZn(CO₃)₂ Otavite CdCO₃ Azurite Cu₃(CO₃)₂(OH)₂ Callaghanite Cu₂Mg₂(CO₃)(OH)₆.2H₂O Cerussite PbCO₃ Phosgenite Pb(CO₃)Cl₂ Grimselite K₃Na(UO₂)(CO₃)₃.H₂O Andersonite Na₂Ca(UO₂)(CO₃)₃.6H₂O Albrechtschraufite Ca₄Mg(UO₂)₂(CO₃)₆F₂.17H₂O

3.4. Amorphous Georgeite Cu₂CO₃(OH)₂

References

- Andrusenko, N. I. 1971. *Mineralogy and Genesis of Iceland Spar from the Siberian Platform*. Nauka, Moscow, 228 p. (in Russian)
- Aslanyan, S., I. Kostov, H. Neels. 1968. Komplexe Zwillinge und Sphärolithe von Nahcolith (NaHCO₃). – *Kristall u. Technik*, 3, 4, 619-627.
- Brasseur ,H. 1931. Sur la morphologie de l'azurite. Z. Kristall., 77, 177-238.
- Brock, K. J. 1993. The crystal forms of calcite. *Mineral. Rec.*, 24, 6, 451-461, 470.
- Carbonates: Mineralogy and Chemistry (Ed. by Reeder, R. J.). 1983. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 11, 394 p.
- Effenberger, H., K. Mereiter, J. Zemann. 1981. Crystal structure refinements of magnesite, calcite, rhodochrosite, siderite, smithsonite, and dolomite, with discussion of some aspects of the stereochemistry of calcite type carbonates. – Z. Kristallogr., 156, 233-243.
- Franke, W., K. Lenk, M. A. Ittyachen, P. K. Mohanan. 1981. The morphology of cerussite PbCO₃ grown in silica gel and on hydrothermal conditions. – *J. Crystal Growth*, *51*, 309-313.
- Franke, W., A. Hofer, B. Jelinski, K. Lenk. 1984. The morphology of witherite and strontianite grown in silica gel, by slow precipitation and on hydrothermal conditions. – *Crystal Res. Technol.*, 19, 12, 1565-1569.
- Godovikov, A. A. 1997. Structural-Chemical Systematics of Minerals. Russian Academy of Sciences, Fersman Mineralogical Museum, Moscow, 240 p. (in Russian)
- Hartman, P. 1984. On the growth of dolomite and kaolinite crystals. *N. Jb. Mineral. Mh.*, 2, 84-92.
- Heijnen, W. M. M. 1986. The structural morphology of aragonite. – N. Jb. Mineral. Abh., 154, 3, 223-245.
- Kalb, G. 1929. Bemerkungen zu den minerogenetischen Kristalltrachttypen des Kalkspates. – Centralbl. Mineral., Geol., Paläont. A, 4, 137-138.
- Kashkai, M. A., R. M. Aliev. 1979. Structural analysis of the most commonly encountered habit faces of calcite crystals from skarn deposits. – *Mineral. Mag.*, 37, 292, 929-933.
- Kostov, I. 1960. On the stability of the crystal forms of minerals. – Zap. Vses. Mineral. Obsht., 89, 1, 90-93 (in Russian).
- Kostov, I. 1964. The classification of oxides. In: Aspects of Theoretical Mineralogy in the U.S.S.R. Pergamon Press, New York, 221-224.
- Kostov, I. 1965. Crystal habit and mineral genesis. Bull. Inst. Geol., Sofia, 14, 33-49.
- Kostov, I. 1968. Notation and genetic significance of crystal habits. – In: V General Meeting, International Mineralogical Association, Cambridge, Papers & Proceedings, 100-109.
- Kostov, I. 1975. Crystal chemistry and classification of the silicate minerals. Geochem., Mineral., Petrol., 1, 5-41.

- Kostov, I. 1977. Crystal chemistry of the minerals: relationship between crystal structure, condition of crystallization and growth morphology. – *Geochem. Mineral. Petrol.*, 7, 3-21.
- Kostov I. 1986. Crystallogenetic trends in a rational systematics of phosphate and related minerals. *Geochem., Mineral. Petrol.*, 22, 3-13.
- Kostov, I. 1993. *Mineralogy*. 4th rev. ed., Technika, Sofia, 734 p. (in Bulgarian)
- Kostov, I. 2000. Mineral classifications re-visited with emphasis on a paragenetic-structural system. – *Geochem., Mineral. Petrol.*, 37, 5-11.
- Kostov, I., R. I. Kostov. 1999. Crystal Habits of Minerals. Bulgarian Academic Monographs, 1. Sofia. Co-published by Pensoft Publishers and Prof. Marin Drinov Academic Publishing House, 415 p.
- Kostov, I., R. I. Kostov. 2002. Structural-paragenetic classification of borate minerals. – *Mineral. Zhurnal, Kiev*, 24, 1, 5-9.
- Kostov I., J. Minčeva-Stefanova. 1982. Sulphide Minerals. Crystal Chemistry, Parageneses and Systematics. Bulgarian Academy of Sciences, Sofia; E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchh. (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 212 p.
- Lazarenko, E. K., O. I. Matkovskii. 1960. Cerussites from the Zakarpatiye. *Mineral. Sbornik, Lvov, 14,* 304-324 (in Russian).
- Lima-de-Faria, J. 1983. A proposal for a structural classification of minerals. *Garcia de Orta, Ser. Geol., Lisboa, 6,* 1-2, 1-24.

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

- Mandarino, J. A. 1999. *Fleischer's Glossary of Mineral Species*. The Mineralogical Record, Tucson, 225 p.
- Naidenova, E., I. Kostov. 1964. Aragonite-calcite relations in one of the caves of Iskretz, district of Sofia. – Ann. Univ. Sofia, Fac. Géol. Géogr., 57, 1, 93-110 (in Bulgarian).
- Povarennykh, A. S. 1972. Crystal Chemistry Classification of Minerals. Plenum Press, New York (transl. from Russian).
- Reeder, R. J. 1983. Crystal chemistry of trigonal carbonates. In: Carbonates: Mineralogy and Chemistry. Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 11, 13-69.
- Railsback, L. B. 1999. Patterns in the compositions, properties, and geochemistry of carbonate minerals. – Carbonates and Evaporites, 14, 1-20.
- Strunz, H. 1984. Moderne Mineral-klassifikationen. A historical review. – In: Proc. 27th International Geological Congress. Moscow 4-14 August 1984. VNU Science Press, Utrecht, The Netherlands, 10, 65-112.
- Sunagawa, I. 1953. Variation of crystal habit of calcite. *Rep. Geol. Surv. Japan*, 155, 1-66 (in Japanese).
- Tokody, L. 1926. Kristallographische Monographie der ungarischen Cerussite. – Z. Kristall., 63, 385-456.
- White, W. B. 1974. The carbonate minerals. In: The Infrared Spectra of Minerals (Ed. by Farmer, V. C.) Mineralogical Society of London, Monograph 4, 227-284.
- Zemann, J. 1981. Zur Stereochemie der Karbonate. Fortschritte der Mineralogie, 59, 95-116.
- Zemann, J. 1989. Crystal chemistry of magnesium carbonates and related compounds. – *Monograph Series on Mineral Deposits*, 28, 241-257.

THE ORE BELT "OSOGOVO – BESNA KOBILA" (ORE FORMATIONS, MORPHOGENETIC TYPES OF DEPOSITS AND PHYSICO-CHEMICAL CONDITIONS OF FORMING)

Slavcho Mankov

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

ABSTRACT. The Ag-Pb-Zn ore belt "Osogovo – Besna Kobila" is located in the NE part of the Trans-European silver belt. This part presents a polygenours, polychronos and polyformational linear metallogenic unit related to the Tertiary tectonic-magmatic processes. With the magmatites of those processes are paragenetically connected mainly silver-lead-zinc and fluorite deposits and numerous occurrences of W-Mo, Mo, fluorite, barite, pyrite-marcasite, realgar-siderite and decorative calcit. All these deposits are united in 8 ore formations (skarn magnetite-chalcopyrite, quartz-scheelite-molybdenite, quartz-galena-sphalerite, quartz-stibnite, quartz-fluorite, pyrite-marcasite, realgar-siderite and formations of decorative calcite), which are in the form of veins, linear stokwers, metaaomatic bodies of bend-like, lense-like nest-like as well as other irregular shaped bodies. The beginning of Tertiary ore-forming is related to the high temperature pneumatolithic-hydrothermal ones (370-330° for the W-Mo bearing fluids) and typical hydrothermal (370-280° C for the main Ag-Pb-Zn mineralization) solutions of acid type (pH = 6.8) containing in g/I: KCI – 31.82, NaCI – 27.28, NH4CI – 0.97; MgCI2 – 1.73; CaCI2 – 5.83; CaF2 – 0.78 and CaSO4 – 10.75. The total concentration of Na- and K- chlorides is up to 59.10 g/l. The fluorite mineralisations are deposited from medieval to low temperature hydrothermal solutions (210-120°) and pyrite-marcasite and realgar-siderite mineralisations are deposited form typical low-temperature low mineralized bruins.

РУДНИЯТ ПОЯС "ОСОГОВО-БЕСНА КОБИЛА" (ФОРМАЦИОННА ПОДЯЛБА, МОРФОГЕНЕТИЧНИ ТИПОВЕ НАХОДИЩА И ФИЗИКО-ХИМИЧНИ УСЛОВИЯ НА ОБРАЗУВАНЕ)

Славчо Мънков

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

РЕЗЮМЕ. Сребърно-оловно-цинковият руден пояс "Осогово- Бесна кобила" заема североизточния сектор на трансевропейския сребърно-металогенен пояс. Този сектор представлява полигенна, полихронна и полиформационна линейна металогенна единица, генетично свързана с терциерните тектономагмени процеси. С магматитите на тези процеси са парагенетично свързани основно сребърно-оловно-цинкови и флуоритови находища, и редица проявления на W-Mo, Mo, флуорит, барит, пирит-марказит, реалгар-сидерит и декоративен тип калцит. Всички те са обединени в 8 рудни формации – скарнова магнетит-халкопиритоав, кварц-шеелит-молибденитова, кварц-галенит-сфалеритова, кварц-антимонитова, кварц-флуоритова, пиритмарказитова, реалгар-сидеритова и калцитова (декоративен тип), които идват като жили, линейни щокверки, метасоматични залежи с пластовидна, лещовидна, гнездовидна и с други неправилни форми, и като междуформационни гнездовидни залежи. Началото на терциерното рудообразуване е свързано с високотемпературни пневматолитни разтвори – 460-370°C, следвани от пневматолитно-хидротермални - 370-330° C (за волфаммолибденовите рудопроявления), хидротермални – pH = 6,8 и с 370-280 °C (за основните сребърно-оловно-цинкови орудявания) със следния солеви състав в g/l: КСІ – 31.82, NaCI – 27.28, NH₄CI – 0.97; MgCI₂ – 1.73; CaCI₂ – 5.83; CaF₂ – 0.78 и CaSO₄ – 10.75. (Сума на Na-и K- хлориди - 59.10 g/l). Флуоритовите минерализации са отложени от средно- до нискотемпературни хидротермални разтвори (210 – 120 С°), а пирит-марказитовите и реалгарсидеритовите – от типично нискотемпературни, слабо минерализирани разтвори.

Introduction

The Ag-Pb-Zn ore belt Osogovo – Besna kobila' (Mankov, 1968, 1984₂, 1988) represents the NE part of the Trans-European silver metallogenic belt (Fig.1) divided by Antonov (1968). The origin of the ore belt 'Osogovo – Besna kobila' is connected to the Alpine tectono-magmatic processes. Numerous and different types mineral deposits are localised along the Serbian-Macedonian-Bulgarian border, as well as in the part of the Northern Greece are paragenetically related to the products of these processes. The Ag-Pb-Zn and fluorite deposits have dominating role among them.

Numerous new mineralisations such as W-Mo type (Mankov and Andreeva 1974, 1975) Be type (Mankov, 1978, 1986), Sb type (Mankov, 1974; Mankov, 1984₂), Te-Bi type (Mankov, 1978; Alexandrov, Mankov, Serafimovski, 1990), pyritemarcasite and realgar-siderite (Mankov, Andreeva, Bostandjiev, 1981, Mankov, Troneva, 1984; Mankov, 1984₂) have been established in this belt. All these studies enlarge significantly the existing knowledge for the metallogeny of the ore belt and now it is discussed as polygenous, polychronous and polyformational metallogenic unite.

Geological setting

The ore belt 'Osogovo – Besna kobila' (Fig.1) takes part from following tectono-magmatic blocks of the ancient Rhodopean massif: I – Kraischtenski block; II – Vlachinsko – Osogovski block; III – Ograjdensko – Belasischki block (Fig.2).



Fig. 1. Location of the Ag-Pb-Zn ore belt "Osogovo-Besna kobila" (O – B) in the Silver Trans-European the ore belt according to Antonov (1986) – western part of the Mediterranean folded belt

Siver-bearing metalogenic provinces: 1 – Alpian; 2 – Herzinian (I - Atlas-Andalusian; II – Dinaridian; III – Anatolian; IV – Alps-Carpathean; V – Central Europenean); 3 – Central massifs; 4 - geosynclinal lifting, 5 – areas involving Negene vulcanites, 6 – abyssal depressions in the Mediterranean sea, 7 – nowadays rift zones. Deposits of siver-bearing ore formations: a) small and middle size, b)large: 8-plumbum-zinc-siver, 9 – copper-pyrite, 10 – copper-pyrite-basemetal, 11 – copper containing schist; 12 – gold-silver, 13 – 5 element containing. Platforms: AFD – African, EEUP – East European, ARD – Arabian

The geological setting of these blocks involves Archaic magmatic-gneiss and metabasite-diabase formations (the Ograjdensko – Belasischki block), diabase-phyllitoide complex and high crystalline rocks (Vlachinsko-Osogovski and Kraischtenski blocks) (Bojadjiev, 1971; Mankov and Andreeva, 1974, 1975) cut by later Tertiary magmatites and Mio-Pliocene sediments overlapped on them vulcanite developed mainly in the SE part of the ore belt (the Strumitsa and Strumenischki grabens). In 1992 Alexandrov prolonged the ore belt on SE of Seres to Tasos Island – Greece and described it as ore-bearing area.

Tertiary magmatites, which cut the three of the tectonomagmatic blocks, form a chaplet-like bend. It starts from Surdulitsa (Serbia) trough the rocks of the Vlachinsko-Osogovski block of the both sides of the Bulgarian-Macedonian border and it reaches the area north of the town of Seres (Greece) in southern direction (Mankov and Andreeva, 1974, Mankov, 1984₂; Alexandrov, 1992). The implementation of the Tertiary magmatites was controlled by faults of 295° - 310° to 360° directions. They formed morphlogically different bodies irregular ones, dykes, stocks and sills, which sizes are larger in the horst lifted parts of Osogovo (Macedonia, Greece), Besna kobila, Surdulitsa (Serbia) and Scharlia (Greece). They are acid and middle-acid magmatites, differentiated in four formations - dacite-andesitic, dellenite-porphyric, basaltandesite-basaltic and formation of the late subalkaline volcanites. All the Tertiary magmatites from the different parts of the ore belt are differentiated in petrochemical aspect trough the normative method of R. Ivanov (1962) (Fig.3) (Mankov and Andreeva, 1975).

All the figurative points are located in the field of delenites. Delenites from Lisets and Vlachina planina are characterised by enrichment of K₂O and those from the Osogovo and Ograjden mountains are enriched with Na2O. By its 'ancontent' the values of magmatites in the first two of the blocks are closer and differ from those in the Belasischko-Ograjden block. The better differentiation of the Tertiary magmatites is expressed on the orthogonal diagram Q:AF:CI. Grouping of the figurative points in the left part of the diagram characterises the rocks as rich in SiO₂ of maximal values of dellenites and dellenite-porphyries of the Belasischko-Ograiden block. The magmatites are characterised by higher content of mafic minerals (CI) in the field AF:CI and no significant differences are established between the other blocks. From the other hand the Tertiary magmatites of the Vlachinsko-Osogovski block is characterised by the highest total average content of iron (fm=58) ant those from the Kraischtenski block by the lowest one (fm=50). The best differentiation of the magmatites is expressed trough the parameter of the total alkalinity (AF) which is 62 for the Kraischtenski block, 58 for the Vlachinsko-Osogovski and 52 for the Belasischko-Ograjdenski block. The magmatites from the Kojuch mountain in the SE part of the ore belt 'Osogovo - Besna kobila' are located in the field of delenites with increased Na and total alkalinity and increased content of free guartz (Q). Ivanov and Zidarov (1968) refereed them to the subalkaline volcanites on this base.

Delleneite-porphyry formation and the formation of later subalkaline volcanites formed during the two magmatic stages – Oligocene-Miocene and Pliocene have the most important role for the main types of the ore mineralisations. They are overlapped on the thick consolidated Pre-Cambrian and old Paleozoic Earth core. This core determined the formation of so called granitophilic ore formations connected to the acid magmatism (Dimitrov, Kolkovski, Mankov, 1979). They differ from the ore formations localised in the SW part of the Trans-European silver belt determined by Antonov (1986). Serafimovski (1990) describes this part as 'ore zone Lecce-Chalcidiki'. The Earth core is relatively thin in this area and it has andesitic characteristics.



Fig. 2. Metallogenic scheme of the ore belt 'Osogovo-Besna kobila (Mankov, 1968; Mankov and Andreeva, 1974, Mankov, 1984₂; Alexandrov, 1992)

1 - Quaternary and Neogene; 2 - Pliocene subalkaline vulcanite; 3 - Miocene granodiorite; 4 - Paleogene vulcanite; 5 - Paleogene sediment rocks; 6 -Triassic; 7 - Paleosoic; 8 - Staraplanina granite; 9 - Vlachinsko-Osogovo lowmetamorphic rocks; 10 - Archean and proterosoic high-metamorphic rocks. Deposits and ore occurrences: 11ª the Kojuch decorative calcite deposit (paramorphosis of calcite and aragonite); 11b - pyrite-marcasite ore occurrences (1. Levunovska cariera. 2. Churichene. 3. Zlatarevo. 4. Zoichan. 5. Gega.); 11° - the Slavianka fluorite deposit; 12. stibnite deposit and ore occurrences (1. Krastov dol. 2. Ravnio rid. 3. Ivanic); 13. main Pb-Zn deposits and ore occurrences (1. Blagodat. 2. Dolno Tamlino. 3. Konev kamen. 4. Popradlovitza. 5. Bojilovo lejiste. 6. Podvirovi. 7. Plaviloto. 8. Samar. 9.Lebnitza. 10.Ruen. 11. Mali Ruen. 12. Toranitza. 13. Sasa. 14. Pehchevo. 15. Kadiitza. 16. Goremski hanove. 17. Topolnitza. 18. Scharalia) 14 - W-Mo deposits and ore occurrences (1. Matchkatitza. 2. Stari glog. 3. Leshtarska mahala. 4. Delchevski dol. 5. Svlachishteto. 6. Saska karaula. 7. Siar.); 15 -Skarn-magnetite ore occurrences (1. Golemi and Malki lisichi dupki. 2. Svlachishteto); 16 - tectonic faults and thrusts; 17 - tectonic blocks (I -Kraishtenski. II - Vlachinsko-Osogovski. III - Belasishko-Ograjdenski); 18 -Rhodopa massive; 19 - boundaries of the ore belt.



Fig. 3. or:ab:an diagram and \pm Q:AF:Cl diagram of Tertiary magmatites from the Kraishtenski (I), Vlachinsko-Osogovski (II) and Belasishko-Ograjdenski (III) tectono-magmatic blocks (Mankov and Andreeva, 1974, 1975; Andreeva, 1979)

(1 – dellenite from the Lisets mountain, 2 – dellenite-porphyry from Central Osogovo, 3 – dellenite and dellenite-porphyry from the mountains of Ograjden and Malashevska, 4 – dellenite and dellenite-porphyry from Vlachina mountain, 5 – subalkaline dellenite from Kojuch, Petrich district)

The forming of the dellenite-porphyry formation in Oligocene-Miocene stage has been realised during the time of the two magmatic impulses. Fine porphyry dellenite-porphyries are related to the first impulse and the coarse-grained delleniteporphyries are connected to the second impulse. They are largely manifested in the whole ore belt. Numerous skarn and W-Mo ore occurrences and deposits (Surdulischi block, Central Osogovo, Scharlia) are genetically and paragenetically related to the first type of rocks.Ag-Pb-Zn deposits and the ore occurrences are paragenetically related to the second type (Dragov, 1965; Mankov, 1968, 1988).

The Pliocene magmatic stage is manifested in the Central Osogovo in the form of meridianal oriented dykes from latiteandesite porphyrites along the marginal parts of the volcanic diatreme Chucarevtsi as well as magmatites from the Kojuch volcano (on the crossing of Struma and Strumescnitsa grabens) are related to this stage in the SE part of the ore belt. Numerous ore occurrences and deposits of quartz-stibnite and quartz-flourite as well as rather specific pyrite-marcasite and realgar-siderite mineralisations in the southern part of the Struma graben on Bulgarian territory are paragenetically related to this type of magmatism.

Formation sysematics of the mineralisations

Tertiary mineralisations in the ore belt 'Osogovo - Besna kobila' are typical polygenous, polychronous and polyformational mineral products and are localised is several ore fields. More important ore fields are Ruen (on Bulgarian and Macedonian territory), Karamanishko (on Serbian and Macedonian territory), Machatichko (on Serbian territory) and Seres (on Greece territory). They are divided into two ore complexes depending on the leading elements: Ag-Pb-Zn (Oligocene-Miocene) and As-Sb-F (Pliocene). They could be divided from formation point of view into 8 ore formations: scarn-magnetite-chalcopyrite (scarn Fe-oxide), guartz scheelite-molybdenite, quartz-galena-sphalerite, quartzstibnite, pyrite-marcasite, quartz-fluorite, realgar-siderite and formation of decorative calcite. All of these ore formations involves several mineralogical-geochemical types deposits and ore occurrences which are characterised by specific mineral compositions, trace elements, textural and structural features, morphology of ore bodies, type of the host rocks and specific role of metasomatic processes.

Scarn magnetite-chalcopyrite ore formation. It involves all the Fe-scarn occurrences in the Central Osogovo, Blagodat and Karamanitsa. The mineralisation is found as massive and veined-banded aggregates of magnetite, chalcopyrite, galenobismutite, aikinite. crupcaite, cosalite. other undiagnosed medium members of aikinite-bismuthinite series, tetradimite and native bismuth. They are overlapped on the andradite-grosular scarns and massive epidosites developed on marbles and green-schist rocks of the diabase-philitoidic complex not far from the larger bodies from the fine-porphyry dellenite-porphyries of the first impulse of the dellenite porphyry formation. They are extremely largely distributed in the SE part of the Ruen ore field (Fig.4 and Fig. 5).

Quartz-scheelite-molybdenite ore formation. The formation involves many W-Mo ore occurrences located in the SE part of the Ruen ore field in Central Osogovo (Mankov, Andreeva, 1974, Mankov, Andreeva, 1974, 1975, Alexandrov, 1992), several W and Mo ore occurrences in the Surdulischki block from the most NW flank of the ore belt (Jankovich, 19955, Simic, 1995) and some small ore occurrences in Ograjden block (Bulgaria) and in Sharlia (Greece). All these W-Mo mineralisations are related to the most lifted blocks within the frame of ore belt 'Osogovo - Besna kobila'. They are presented by a series of guartz-molybdenite, guartz-ferberitescheelite, quartz-ferberite and quartz-pyrite yeins and dissemination localised mainly in WN zones of faulting and cataclasis among fine porphyry dellenites, developed most significantly in the Central Osogovo. Mineralisations in them are most intensive in the crossing point of the zones and one large longitudinal zone of faulting which is ore-bearing and orecontrolling one (Mankov, 1988). Similar of their characteristics are mineralisations in the Surdulishki block - ore deposit Matchkatitsa. Typical trace elements are Bi, Te, Cu, Sn, Pb, Zn and specific zeolitisation - late heilandite mineralisation. Typical metasomatites guartz-K feldspathization (Mankov and Andreeva, 1973).

Quartz-galena-sphalerite ore formation. It is presented by 21 deposits and 168 ore occurrences. Significant reserves of three elements Ag-Pb-Zn are confirmed (Sasa deposit -Macedonia), Ruen deposit with its two sections - Central and Shapka; the Mali Ruen deposit - sections Central and Belite sipei. The last three deposits are situated in the Ruen ore field in Bulgaria. The deposits from this formation are typical Ag-Pb-Zn ones by their mineral composition containing as well increased contents of Cd, In, Sb, As, Bi, Te and Au. The last studies established also increased contents of Be, which forms its own mineral - helvine (Mankov, 1978, Mankov, 1986), Sn which is very typical element for the main guartz-sulphide paragenesis from (300 to 600 g/t) in the form of isomorphic mixture in chalcopyrite and pyrrothite or as kesterite (Cu₂ZnSnS₄) and one new (not well studied) Sn-Cu phase. Deposits and ore occurrences from this formation are related mainly to the large W-NW, NW longitudinal faulting zones and zones of cataclasis affecting fine- and coarse-porphyries dellenite-porphyrites as well as high- and low- crystalline rocks. The most significant ore bodies in many cases are localised in marble among guartz-graphite schist, among cataclased isotropic dellenites and green schist by metasomatic processes - it means that multicentral metasomatosis over silicified and carbonate rocks is developed. Typical metasomatites around ores are products of quartz-sericite metasomatic formation (unpublished data by Andreeva).

Quartz-stibnite ore formation. It is presented by 4 vein deposits and ore occurrences localised in the board parts of the Precolnishki graben (NW part of the Ruen ore field), Ravnio rid – S from Gueshevo and Krastov dol (Macedonia) and N and S part of the Belasitza horst on Bulgarian and Greece territory (Fig.2 and Fig.4). Therefore these are sections of the ore belt 'Osogovo – Besna kobila' which have the lowest erosion level and they occupied reasonable position on the background of the total distribution of all deposits related paragenetically to the fine-porphyry and coarse-porphyry dellenite-porphyries. Increased contents of Hg, Ag, Au, Te, Pb and Zn as well as quartz-argillite metasomatites are typical for the occurrences of this formation.

Quartz-fluorite formation is presented by 4 occurrences in the Ruen ore field found out by Dimitrov (1945), Mankov (1974), Zagorchev and Ruseva (1982) and one quartz-fluorite deposit (Slavjanka) that is situated within crystalline rocks and Miocene sediments in Ograjden block near the western board of the Struma graben (Todorov, 1984) and also by several ore occurrences in the Maleshevska mountain (Krastiltzi and Karpelevo) (Mihov et al., unpublished data). Typical trace element for this formation is As and quartz-argillite type metasomatites (Todorov, 1984). Two of ore occurrences in Ruen ore field are related to the W-NW and meridian to the N-NE fault zone in dellenites cutting the main Ag-Pb-Zn mineralisation. The other two occurrences are related to the marbelous limestone from the basement of the Eleshnitza allochthon over the Osogovo autochthon (Zagorchev, Ruseva, 1982) on the crossing point of faulting zones W-NW direction and meridian faults. This fact determines their nest-like shapes which is different from the expected layered-like, that is why the possibilities for founding out fluorite mineralisations of economic importance in the Ruen ore field are limited.



Fig. 4. Ore formations and mineral types deposits and ore occurrences in the Ruen ore field (Mankov, 1974; Mankov, 1988; Aleksandrov, 1992) A. Skarn magnetite-chalcopyrite: a)andradite-magnetite epidote (1- Golemi lisischi dupki; 2 – Malki lisichi dupki, 3 – Zeleni dol, 4 – Svlachishteto, 5 – Lagera); b) pyroxene-specularite epidote (6 – Zlatanski dol, 7 – Ilan dere); c) andradite-epidote-galena (8 – Petsovska mahala, 9 – Petrova niva). B. Quartz-scheelitemolybdenite: a) quartz-albite-molybdenite scheelite (10 – Svlachishteto, 11 – Pchelina, 12 – Murni dol, 13 – Saska karaula); b)quartz-molybdenite (14 - Delchevski dol, 15 – Chukarevtzi, 16 – Lisin dol, 17 – Saravska mahala), C.Quartz-galena-sphalerite: a)diopsite-jochansenite-bustamite (18 – Sasa); b) sphalerite-galena with low distribution of gangue minerals (19 – Ruen, central part, 20 – Belite sipei, 21 – Jdrapanitza II, 22 – Prosechenik, 23 – Petrova reka, 24 – Ruen (Macedonia), 25 – Bachilski potok); c) galena-sphalerite predominated by quartz and carbonates (26 – Lebniotza I, 27 – Lebniotza II, 28 – Ravna niva, 29 – Sredno burdo); d)quartzrodonite-basemetal with silver minerals (30 – Ruen, Shapka section, 31 – Mali Ruen, 32 – Shapka II); e) johannsenite-rodonite with galena and sphalerite (33 – Nivite, 34 – Mali Ruen – zone 4 and 5, 35 – Belite sipei – metasomatic body). D. Quartz-stibnite: a) quartz-stibnite (36 – Ravnio rid) *E. Quartz- fluorite: -* a) fluorite (37 – Tsurna reka, 39 – Chekanets, 40 – Zidintsi); b) barite-fluorite (38 – Ruen).

Pyrite-marcasite ore formation is established in the southern part of the ore belt in the crossing point with the Struma graben (Mankov, Andreeva, Bostanjiev, 1981). It is presented by massive layered pyrite-marcasite aggregates developed over the basal breccia-conglomerate of Neogene sediments of the Struma graben (ore occurrences Levunovska kariera) as well as by series of vein pyrite-marcasite ore occurrences – Saichan, Zlatarevo, Churichene, Kozuch, which are located along the northern edge of the Struma graben among intensively altered high-crystalline rocks of the Ograjden block. Typical elements for this formation are As, Ba and F (Mankov, 1984) and quartz-argillite type metasomatites.

Realgar-siderite ore formation is presented by layered siderite body among the Neogen sedeiments in the area of Damianitza village – southern part of Struma granben. The body is cut by series of realgar veinlets (Mankov, Andreeva, Bostanjiev, 1981). The formation of realgar is related to the active hydrothermal reprocessing of the massive pyritemarcasite bodies from the lower part of Neogen section. As a result significant quantities of As are isomorphically included in pyrite lattice (Mankov, 1984; Mankov, Troneva, 1984). This way the Neogen ore formations are located in two levels – marcasite-pyrite formation occupies lower level and realgar-siderite formation is developed in the upper level (Fig.10).



Fig. 5. Nest- and lens-like scarn-magnetite ore bodies from SE part of the Ruen ore field, Bulgaria (a – development of zonal scarns in xenolites of quartzchlorite schist in fine-porphyry dellenites. Lagera ore occurrence; b – development of granate-epidote skarns in gabrodiorite. Lisichin dol ore occurrence. (Andreeva, 1977₁) 1 – epidosite, 2 – granate-epidote skarns with magnetite, 3 – andradite-grosular zone, 4 – zone of epidotised quartz-chlorite schist, 5 – zone of intensive faulting and cataclasis with pyritisation (a) and without pyrite (b), 6 – fine-porphyry dellenite, 7 – gabrodiorite, 8 – quartz-chlorite schist, 9 – muscovite gneiss, 10 – faults, 11 – trenches.

Formation of decorative calcite is typical for the volcanites from the hill of Kozuch. It is presented by a large but flat cone-like calcite body elongated in W-NW direction (Petrov, 1963, Milanova, 1965, unpublished data). Calcite is developed as paramorphosis of aragonite.

Morphogenetic types deposits and ore occurrences

Mineral formation from the Tertiary post-magmatic fluids in the ore belt 'Osogovo - Besna kobila' is in different zones of free infiltration drainage or in relatively closed diffusionmetasomatic system and rarely in the contractive fractures of the apical parts of larger Tertiary magmatic bodies. The different lithologic composition of the host rocks and the orientation of some of their elements (such as foliation, inclination) to the orientation of the ore-bearing solution movement gives the additional reflection on the morphogenetical variations of ore deposits and occurrences and their ore bodies. On the other hand the physico-chemical nature of the ore-bearing solutions (T, P, C) reflects to the velocity and intensity of mineral precipitation (chemical destruction of some minerals and formation of other minerals) and implements new features in morphogenetic variations of ore deposits.

The following morphogenetic ore types could be divided distinctly on the basis of mentioned above (Mankov, 1974; Mankov, 1988; Alexandrov, 1992): 1. Veins; 2. Linear stockworks; 3. Metasomatic bodies of layer-like, lens-like and other irregular shapes; 4. In-formation nest-like bodies. Two ore more morphogenetic type ore bodies are often formed in particular deposit.

The vein type involves several Pb-Zn deposits in the Ruen ore field (Lebnitza I, Lebnitsa II, Ravna niva – Bulgaria; Sredno bardo, Ruen, Petrova reka, some of the bodies in the Sasa deposit and Bachilski potok – Macedonia), some deposits from the Karamanishko ore field (Podvirovi, Karamanitza – Serbia; Samar, Kukishte, Turska straja, Bagremi – Macedonia), Pb-Zn deposits in the Pehchevo ore field (Pehchevo, Pehchevska reka, Racovets Kadiitza in Macedonian and Bulgarian territory). This type involves also fluorite deposit Slavianca, stibnite ore occrrences Ivanic and Ravnio rid from the southern and central part of the Osogovo block, stibnite deposit Krastov dol in Macedonia which is located in the Karamanitsa ore field.

These mineralisations are located in different gneiss, gneiss-graniteq granodiorite, green schist rocks and rarely in dellenite and large, steep, longitudinal up to the NW and EW fault structures (Fig.6). They are quartz and quartz-carbonate veins that contain sulphides, dipping into W to SW (75-80°) and distinct contacts with host rocks. They are traced on the

surface from 100–150 m (Ravna niva) up to 2000 m (Lebnitza I and Lebnitza II) and up to 700 m in vertical direction. In depth they have tendency to divide in a form of a hand with open fingers pointing down (Lebnitza I). Anisotropy characteristic of the host rocks determined one-way opening of ore-bearing faults during the different moments of the development of mineralisation process which is a reason for forming typical ore veins of massive, breccia-like, banded, druses, cockard and spoty structures in open fractures.

Typical vein bodies in the Podvirovi deposits (Karamanishko ore field) are located along the faults on the contact of low-crystalline rocks and coarse-porphyry dellenite (Petrovic, 1981; Simic, 1995). Typical linear stockwork from 10 to 40 m wide are established in depth among the isotropic dellenite porphyry bodies.

The second structural-morphological type deposits and occurrences - linear stockworks and stockwork-vein type deposits are related to the large zones of faulting and cataclasis, mainly with W-NW direction - 295-305° dipping in SW and W-NW (70-75°) and very rarely - to the N-NE fault zones. This type unites deposits which belong to different ore formations and mineralogical types (in Bulgaria - Ag-Pb-Zn deposits Ruen, sections Central and Shapka; Mali Ruen, sections Central and Belite sipei, Jdrapanitza II; W-Mo ore occurrences Svlachishteto, Chcarevtzi, Delchevski dol and Manastirski dol: in Macedonia - Pb-Zn deposits Ruen. Bachiloto and Plaviloto, W-Mo occurrences Saska Karaula and Sarafska mahala; in Serbia - W-Mo deposits Matchkatitza and Borovic and Pb- Zn deposit Karamanitza). Some of these deposits have economical importance. Mineralisations could be followed from 50 - 60 m up to 3000 m (Ruen, Belite sipei, Mali Ruen, Matchkalitza). The vertical interval of mineralisation is over 750 m in some of them. Ore bodies are characterised by very complicated shapes and irregular distribution of minerals manifested by metasomatic, multicentral begoleve quartz-sulphide-carbonate iimpregnation and veilets, mainly among the isotropic fine and coarse-porphyry dellenite (Fig. 7 and Fig. 8 a, b, h).

Different in their morphology and geological setting metasomatic ore bodies and mineralised zones determined as overlapped metasomatites were formed in different in their composition host rocks. The whole development of these metasomatites leads to the total reproduction of structural and textural peculiarities of the replaced dellenite-porphyries. The main part of the ore bodies in the Ruen deposit (Central part), the main ore bodies in the Mali Ruen deposit (Central part), the main ore bodies in the Belite sipei deposit (Bulgaria), The Ruen, Bachilski potok and Plaviloto deposits (Macedonia), the Karamanitza deposit and Mo deposits Machkatitza and Bucovic (Serbia) (Jelencovic, 1995; Simic, 1995).

Metasomatic processes have been developed in direct relation to the intensity of tectonic movements, chemical composition and structure of the host rocks, temperature and Sericitised, epidotised and rodoninitised K-feldspar and plagioclase phenocrystals of fine porphyry-dellenite and vein quartz-rodonite scarns as well as different magmatites are favourable environment for development of sulphide metamorphosis. Linear elongated zones with disseminated sulphide mineralisation (Mali Ruen, Belte sipei, Nivite, Petrova reka and Bachilski potok – the Ruen ore field in Bulgaria and Macedonia; some of the ore bodies from the Podvirovi deposit, the Karamanishko ore field, Serbia) were formed parallel and slantwise to the foliation in the green schist rocks.



Fig. 6. Vein quartz-galena-sphalerite ore bodies – Shapka deposit (a), Petrova reka (b).

Cross sections (1 – quartz-sulphyde ore bodies; 2 – dissemination quartzsphalerite mineralization in cataclase zones; 3 – fine porphyritic delenite; 4 – sericite-chloride schists; 5 – amphibole-biotite gneisses concentration of hydrothermal solutions (Mankov, 1974).



Fig. 7. Cross sections of linear stockwork quartz-molybdenite (a) ore field and quartz-scheelite- molybdenite (b) ore bodies related to zones of faulting and cataclasis (a – Borovic deposit, the Machkatitza ore field – Serbia (Simic, 1995), b – Svlachishteto ore occurrence – Chucarevski structural knot, SE part of the Ruen ore field)

1- boundaries of zones of faulting and cataclasis, containing Mo and W-Mo mineralisations: A – Borovishka zone, B – Eleshnitza, C – Chucarevska; 2 – Mo ore bodies; 3 – quartz-scheelite-molybdenite and pyrite veinlets and disseminations; 4 – dellenite-porphyry; 5 – granodiorite-porphyrite; 6 – faults; 7 – boreholes

The shape of the ore bodies in this zones is complicated also by the ore-transporting role of the meridian fault structures and existence of contraction fissures in the apical parts of the large dellenite bodies (Dimitrov, Tsetlin, Donets, 1984). That is why the mineralisation often inclines in lower parts of the ore-containing zones and its shape is like a turned above broom (Mankov, 1978). Additional factor for the complicated morphology of the ore bodies are also several different hypsometric levels of decollement in the green schist rocks related to the thrust movements and formation of high-styled folds in part of the ore bodies in the Nivite and Belite sipei deposits according to some authors (Zagorchev, Ruseva, 1982; Vardev, 1984). The third morpho-genetic type mineralisation is largely spread and it is most various one. Numerous scarmmagnetite-chalcopyrite occurrences (Fig.5) and parts or whole Pb-Zn deposits in the Ruen ore field, tha main part of Pb-Zn ore bodies in Blagodat (Serbia), pyrite-marcasite and realgar-siderite mineralisations from the Neogene sediments in the southern part of the Struma belong to this type.

Hydrothermal-metasomatic Pb-Zn deposits in the Bulgarian part of the Ruen ore field are massive nest-lens-like and layered bodies set up by johannsenite-rodonite and quartzrodonite aggregates overlapped by rich sphalerite-galena mineralisation or by massive sphalerite-galena aggregates localised in small marble lenses, sericite-chlorite and epidotechlorite schist (Belite sipei, Nivite, Ruen) (Fig.8 c).

Mineralisations of this type in the Macedonian part of the Ruen ore field, the Saska group deposits (Kozja reka and Svinja reka, Petrova reka), Toranitza I and Toranitza II and Blagodat deposits in Serbia are especially significant ones. The Pb-Zn mineralisation in the Sasa, Toranitza I and Toranitza II deposits forms a large layered lens and nest-like bodies. They are located within the marble and chalcoschists of the quartz-graphite schist and laying over and below them green schist rocks in the contact of the Tertiary magmatites (Bogoevski, 1967; Alexandrov et all, 1990; Alexandrov, 1992) (Fig.9, a, b). The sizes of the ore bodies vary within a broad range from 50-150 up to 1250 m long and from 0,50 m to 50 m thick.

Interesting case-like and slipper-like metasomatic bodies with galena-shpalerite and quartz-rododnite-sulphide composition are developed in the apical parts of the large dellenite porphyry bodies (Fig. 8 d, f, g).

The four morpho-genetic type mineralisations is presented by fluorite occurrences Checanets and Sidintzi (Zagorchev, Ruseva, 1982) and they are characterised by very small sizes. Our studies established that the filling of the open drainage structures without traces of metasomatic phenomena in the host rocks of the Triassic limestone localised under green schist rocks of the Eleshnitza thrust played the main role for their formation. The Liska deposits, that is localised within gneiss under the screen of Paleogene sediments – Kraramanitsa ore fiel, belongs to this type (Simich, oral expose).

Temperature conditions of mineral forming and chemistry of ore-bearing fluids

The different types of mineralisations in the ore belt 'Osogovo – Besna kobila' have been formed within a large temperature range. The hydrothermal brines changed their acid-alkaline features and composition within the frame of the whole mineral forming process. These peculiarities determine type of the hydrothermal metasomatic alterations and structural-texture features of ores.



Fig. 8. Morpho-genetic types deposits and ore bodies in the Bulgarian part of Ruen ore field

a) linear stockwork set up by veinlet-disseminated type of quartz-sulphide mineralisation related to the complicated zone of faulting and cataclasis. The Ruen deposit, central part - plan of level 1480 m; b) vein ore bodies of veinlet disseminated type of distribution of quartz-sulphide mineralisation controlled by a zone of faulting and catacalsis. Cross section. The Ruen deposit, Central part; c) massive galena-sphslerite mineralization within sericite-chlorite schist on the contact fine porphyry dellenite-porphyries. Nivite deposit; d) Case-like and crescent development of massive quartz-rodonite and quartz-sulphide mineralisation in marble xenolites in fine porphyry dellenite. Nivite deposit. e) hens-like formning of massive guartz-rodonite scarns with sulphide mineralization in SE bort of Mali Ruen volcanic vent under screen of quartz-galena schist on the border between tuff-breccia and dellenite-porphyry. f) crescent and g) layered-like ore bodies of massive quartz-rodonite and quartz-galena aggregates developed around marble lenses and layers among sericite-chlorite schist or in the contact with marble. Nivite deposit. tr. 20 and 22. h) ore bodies of complicated distribution of mineral composition containing helvine mineralisation. The Mali Ruen deposit, central part (Mankov, 1986) (1 - tuff-breccia; 2 dellenite-porphyries; 3 - quartz-sericite-graphite schist; 4 - marbles; 5 - sericite-chlorite schist; 6 -sericite-chlorite, chlorite-epidote, quartz-sericite-graphite schist; marbleous limestones; 7 - massive galend-sphalerite mineralization; 8 - quartz-rodonite scarns; 9 - quartz-rodonite scarns with galend-sphalerite mineralization; 10 vein quartz-galena-sphalerite mineralisation; 11- vein quartz-pyrite mineralization with helvine; 12 -pyrite disseminated mineralisation; 13 - faults and directions of movements

Skarn-magnetite-chachopyrite and quartz-scheelitemolybdenite formation are formed in typical high temperature conditions (460-370°C for the first formation and 370-330 °C for the second one) as it could be concluded from the fluid inclusion studies of transperant and semi-transperant minerals. The initial stage of the mineral formation is related with fluids of high oxygenal potential, low mobility of oxygen and iron, which precipitated magnetite and hematite. Ca, Al and partly Mg, K and Na are extracted from the host rocks and they start active epidotisation and skarning (andraditegrosular type). Later development of the ore-forming process in skarn occurrences is oriented along the line high-low sulphur potential. Due to this, the sequence of mineralisations after formation of magnetite and hematite is as following: iron sulphides \rightarrow copper sulphides \rightarrow bismuth sulphosalts and sulphides →bismuth tellurides→native bismuth.

The precipitation of W-Mo and Mo mineralisation is in direct

relation with later increasing of acidity of brines (Mankov and Andreeva, 1974, 1975, Andreeva, 1997₂) when it is realised

the mass formation of guartz and catching Ca++, liberated during the alteration of plagioclase in the form of scheelite

under the impact of high temperature solutions of total

concentration of CO₂ - 11,1 mol/g which is with 2,25 mol/g

over the upper limit of saturation of the hydrothermal fluids

deposits from the Ruen ore field is the existence of two

sphalerite

with CO₂.

parageneses of economical importance, the second of which is with significant higher initial temperature compared to the final temperature of the second one. Fluid inclusions in quartz from the first paragenesis homogenise at 370-280°C, at 143°C in calcite and at 120-170°C in barite. The salt concentration (g/l) and composition of fluids is determined trough analyses of the gas-liquid extraction from the inclusion as follows: KCI – 31,88; NaCI – 27,22; NH₄CI – 0,97; MgCl₂ – 1,75; CaCl₂ – 5,83; CaFe₂ – 0,75; CaSO₄ – 10,50 and pH=6,88. Na and K chlorides predominate in this composition as it could be concluded from their total concentration of 59,10 g/l (Mankov, 1988).



Fig. 9. Metasomatic galena-sphalerite ore bodies over marble and chalkschist involved in quartz-graphite schist and amphibole-biotite gneiss in contact with dellenite: a) cross section trough Sasa deposit, Svinia reka section (Alexandrov, 1992); b) plan on level 1775 m, Toranitza deposit (Serafimovski, Alexandrov 1995); c) nest-like quartz-rodonite-galena-sphalerite mineralisation on xenolite of marble in the apical part of dellenite stock. Ruen deposit, gal.17; 1-metasomatic ore bodies; 2-andradite-grosular skarn; 3 – dellenite; 4 – marble; 5 – sericite-chlorite schist; 6 – fault; 7 – mine works.



Fig. 10. Ore-lithologic section (Struma graben, Damjanitsa section) 1 – conglomerates, 2 – clay sandstones, 3 – aleurolites, 4- marcazite-pyrite lens, 5 – syderite lens, 6- realgar veins, 7 – dollomite-calcite veins, 8 – barite veins, 9 – quartz-sphalerite-galena veins, 10 – massive marcazite-pyrite body, 11 – Pliocene vulcanite, 12 – Pre-Cambrian amphibole-biotite gneisses.

Temperatures of homogenisation of gaze-liquid inclusions in quartz from the second economic quartz-carbonate-silver paragenesis is determined within 290-260°C and those in cellophane and calcite are respectively 170-140°C and 140-130°C. Formation of this paragenesis is related to implementation of hydrothermal fluids of higher temperature connected to development of the magmatic chamber or separation of fluids from its lower hypsometric levels. Typical lower temperature hydrothermal products (270-100°C) such as stibnite, barite-fluorite, fluorite, pyritemarcasite and realgar-siderite mineralization in the ore belt are related to the Pliocene final ore-bearing process. Fluorite mineralization are the highest temperature ones among them. The formation of the main quartz-fluorite paragenesis in the Slavianka deposit is within the range of 210-120°C as it was determined by Todorov (1984) on the basis of temperature of homogenisation in different coloured fluorite from this deposit.

As a conclusion it should be mentioned that the ore belt 'Osogovo – Besna kobila' as a part of Trans–European silver metallogenic belt has significant importance in discussion of the metallogeny in the Central Europe and the countries from the Balkan Peninsula. Unique metal concentration of Ag, Pb and Zn are located in it as well as important W-Mo, fluorite, pyrite-marcasite, stibnite and realgar-siderite occurrences are located in it. Most interesting of them are sulphides and carbonates of Mn, Ni arsenides, Cd carbonates, Be silicates, As and Sb sulphosalts of Ag, telluride of Pb, Ag and Bi, concentration of Sn, Bi sulphides and sulphosalts, As and Sb sulphosalts of copper. All these contribute for the specific features of this ore belt, which has no analogue among the other metallogenic unites in the countries from the Balkan peninsula and Central Europe.

REFERENCES

- Alexandrov, M., S. Mankov, T. Serafimovski. 1990. Silver minerals from the 'Sasa' lead-zinc deposit, Eastern Macedonia. 12th Congress of geologists in Yugoslavia, v. 3, Ohrid (in Macedonian).
- Alexandrov, M. 1992. Metallogeneic characteristics of polymetall ore field "Sasa", East Macedonia. Doctoral thesis, Stip (in Macedonian).
- Andreeva, L. 1977₁. Some peculiarities in the geological position and morphology of scarn mineralisations in the Osogovo mountain. – Annual of the University of Mining and Geology, 21, 2, 95-116 (in Bulgarian).
- Andreeva L., 1977₂. Wall rock alterations related to the tungsten-molybdenum mineralisations in the Ruen ore field, Osogovo. – Annual of the University of Mining and Geology, 20, 2, 33-53 (in Bulgarian).
- Antonov, A. 1986. Conformity distribution of silver mineralization in the western part of Mediterranean zone. *Annual of the University of Mining and Geology*, 32, 2, 33-53.
- Arnaudova, R. 1973. Petrographic and petrochemical peculiarities of the Osogovo Tertiary magmatites. – Journal of Bulgarian Geological Society, 1, 19-34 (in Bulgarian).
- Bogoevski, K. 1967. Mineralisations affiliated to the Tertiary magmatism in Osogovo-Besna kobila district. Ref. VI, Ohrid (in Macedonian).
- Boyadjiev, S. 1971. Belasishko-Ograjdenski block. In: *Tectonic compostion of Bulgaria*. Sofia, Technika, 435-440 (in Bulgarian).
- Dimitrov, T. 1945. Contribution to the geology of the Osogovo mountain. – Annual of Dept. mining and geological exploration, 3, 179-201 (in Bulgarian).

- Dimitrov, R., B. Koliovski, S. Mankov, 1979. Systematic of Tertiary mineralisations in the Rhodope metalogeny province on the territory of Bulgaria. – Annual of the Sofia University, Geology, 73, 1, 65-78 (in Bulgarian).
- Dimitrov, R., Tsetlin, V., Dnoets, A. 1984. Geological structure of of Ruen ore field. – Ore Deposits Geology, Moscow, 3, 55-65 (in Russian).
- Dragov, P. 1965. Mineralogical and geochemical investigations in the Osogovo lead-zinc deposits. – Works on the geology of Bulgaria, series Geochemistry, Mineralogy and Petrography, 5, 209-266 (in Bulgarian).
- Gorchevich, N. 1976. Polymetal deposit 'Samar' in the Northern Osogovo, *RGM. 11*, Beograd (in Macedonian).
- Ivanov, R. 1962. A petrochemical method and modal systematic of some magmatic rocks. – Bulletin of Geological Institute of BAS, XV (in Bulgarian).
- Ivanov, R., N. Zidarov. 1968. Petrochemical exploration of Tertiary volcanism at the mountains Ograjden, Maleshevska and Vlahini of Southwest Bulgaria. – Bulletin of Geological Institute of BAS, series Geochemistry, Mineralogy and Petrography, 17, 295-326 (in Bulgarian).
- Jelenkovic, R. 1995. Metallogenic features of the Besna Kobila ore district (SE Serbia). – Geol. Mac. 9, 81-88.
- Mankov, S. 1968. The role of meridianal and submeridinal fault structures for the lead-zinc mineralisation of the Ruen ore field. *Annual of the Higher Institute of Mining and Geology, 14, 2,* 210-234 (in Bulgarian).
- Mankov, S. 1971. Native arsenic, arsenopyrite and gersdorfite from the lead-zink deposit Ruen – Osogovo. – Annual of the University of Mining and Geology, 7, 2, 47-58 (in Bulgarian).
- Mankov, S. 1974. System of mineralisations affiliated to the Tertiary magmatism of the Ruen ore field. – *Problems of ore-formation, IV Symposium of JAGOD,* Varna, 1, 157-132 (in Russian).
- Mankov, S., L. Andreeva. 1974. Tertiary tungstenmolybdenum mineralisation in the Central Osogovo, Kjustendil. – *Review of Geological Institute, Series Ore and Raw Materials Mineral Deposits*, 23, 175-192 (in Bulgarian).
- Mankov, S., L. Andreeva. 1974. Tungsten-molybdenum mineralisations connceted with tertiary magmatism of the Bulgaria-Yugoslavian border region. Prague, 1, 53-59.
- Mankov, S., L. Andreeva. 1975. Tungsten-molybdenum deposits in the Bulgaria-Yugoslavian border region. Prague, 3, 39-42.
- Mankov, S, 1978. First helvite findings in Bulgarian lead-zinc deposits. Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 4, 456-458.
- Mankov, S. 1978. Sulphide pseudomorphoses in the Osogovo vein lead-zinc deposits. Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., 5, 571-574.
- Mankov, S. 1978. New tellurides for the Rhodope lead-zinc deposits and their paragenetic affiliation. – '25 years Higher Institute of Mining and Geology', Jubilee Scientific Conference, Varna, 61-91 (in Bulgarian).
- Mankov, S., Andreeva L., Bostandjiev, M. 1981. Realgar and siderite within Neogene sediment rocks in the are of Kozuh volcano, Blagoevgrad district. In: *"20 years SRA", UMG*, 37-48 (in Bulgarian).
- Mankov, S. 1982. On the role of the metasomatosis in the formation of vein lead-zinc ores of some ore fields in

Bulgaria – *Mineralogical Journal*, 2, 60-67, Kiev (In Russian).

- Mankov, S. 1984. Chimism and physical properties of pyrite form Kozuh, Blagoevgrad district. – In: "Geological problems of south-western Bulgaria", Sofia, Technika, 113-132 (in Bulgarian).
- Mankov, S. 1984₂. Tertiary mineralization in south-western Bulgaria and its regularity propagation. – In: "Geological problems of south-western Bulgaria", Sofia, Technika, 80-91 (in Bulgarian).
- Mankov, S., T. Troneva. 1984. Heterovalent isomorphism in pyrite along sulphur arsenic line and its influence on physical properties of the mineral. 13th Congress KBGA, Warsawa, 2, 19-21.
- Mankov, S. 1986. New genetic type of helvite mineralisations in Bulgaria. – *Annual of the University of Mining and Geology*, 32, 2, 95-104 (in Russian).
- Mankov, S. 1988. Ruen ore field. Lead-zinc deposits in Bulgaria, S., Technica, 90-113 (in Bulgarian).
- Petrov, P. 1960. Geological and hydrogeological observations around Kozuh valkano, Southwestern Bulgaria. – Works on the Geology of Bulgaria, series Stratigraphy and tectonics, 1, 295-318 (in Bulgarian).

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

- Petrovic, M. 1981. Polymetall deposit "Rodvirovi", Southeastern Serbia. – *Rud. Geol i Meral., 32*, 6, 941-947.
- Simic, M. 1995. Basic structural, geological and metalogenic characteristics Mo deposit Borovik in the Mackatice ore field. – Works of Geoinstituta, 31, Belgrade, 4-60.
- Vardev, N. 1984. Lithostratigraphic and structural position of areas favourable for formation of hydrothermal metasomatic mineralisations in the Mali Ruen deposit – Belite sipei (Ruen ore field). – Oreforming process and mineral deposits, 21, 13-24 (in Bulgarian).
- Vardev, N., Mankov. S. 1991. Criterion of metallogene and prognoses estimation of Osogovo ore field. Ore formation processes and mineral deposits, 32, 3-13.
- Zagorchev, I., M. Russeva. 1982. Composition of Southern parts of the Osogovo mountain and Pianechka area (South-West Bulgaria) – *Geologica Balcanica*, *12*, 3, 38-57 (In Russian).

GEOCHEMICAL AND SR-ND ISOTOPE CONSTRAINTS ON THE LATE CRETACEOUS MAGMATISM IN THE AREA OF THE ZIDAROVO ORE FIELD

Kalin Ruskov¹, Albrecht von Quadt², Irena Peytcheva^{3,1}, Svetoslav Georgiev², Strashimir Strashimirov¹, Stanislav Stoykov¹

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

² Institute of Isotope Geochemistry and Mineral Resources, ETH, Zürich CH-8092; quadt@erdw.ethz.ch

³ Central Laboratory of Mineralogy and Crystallography "Acad. Ivan Kostov", BAS, Sofia 1113; peytcheva@erdw.ethz.ch

ABSTRACT. The Zidarovo ore field is situated 15–20 km south from the town of Bourgas. The region consists of Senonian volcanic, intrusive and sedimentary rocks. The syn-/postmagmatic hydrothermal activity was responsible for the formation of polymetallic and gold-polymetallic ore veins in the volcanic rocks. The ore mineralisation is developed in two sectors – Kanarata in the central part (close to the Zidarovo intrusive) and Yurta in the NNW part of the ore field. The composition of the volcanic rocks of the Zidarovo ore field varies from basaltic to trachy-andesitic. The sub-volcanic dyke complex has basaltic and trachy-basaltic composition, and the intrusive rocks are gabbroic to monzo-dioritic. The rock varieties belong to the high-K calc-alkaline magmatic series. Indicative bivariate diagrams as Nb vs. Y, Rb vs. (Yt+Nb), Rb vs. (Yb+Ta) and Zr/Al₂O₃ vs. TiO₂/Al₂O₃ define volcanic-arc tectonic environment of their formation. MORB normalized trace elements patterns of the magmatic rocks (enrichment of large ion lithophile elements and low values for high field strength elements, the strong negative Ta and Nb anomaly and the chondrite-normalized REE distribution of the basaltic rocks indicate subduction related magma affinity. Nd and Sr whole rock isotope data are in agreement with this conclusion revealing mantle-crustal signatures with *ɛ*-Nd (80 Ma) values generally between +2.1 and +3.0 and initial strontium ratios in the narrow range 0.704-0.705. Compared with the data for the Central Srednogorie the magmatic rocks from the Zidarovo ore field are less crustal contaminated. The same trend is observed comparing intrusive and volcanic varieties - the volcanic rocks reveal more primitive isotope composition, which is explained by the faster cooling of the volcanites, probably prior to contamination with crustal materials in middle/upper crustal chambers.

ГЕОХИМИЧНИ И SR-ND ИЗОТОПНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ГОРНО КРЕДНИЯ МАГМАТИЗЪМ В ЗИДАРОВСКОТО РУДНО ПОЛЕ

Калин Русков¹, Албрехт Фон Квадт², Ирена Пейчева^{3,1}, Светослав Георгиев², Страшимир Страшимиров¹, Станислав Стойков¹

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

² Институт по изотопна геохимия и минерални ресурси, ETH, CH-8092 Цюрих; quadt@erdw.ethz.ch

³ Централна лаборатория по минералогия и кристалография "Акад. Иван Костов", БАН. София1113;

peytcheva@erdw.ethz

РЕЗЮМЕ. Зидаровското рудно поле е разположено на около 15–20 км. южно от гр. Бургас. Районът е изграден предимно от сенонски вулканогенни, интрузивни и седиментни скали. Резултат от постмагматични хидротермални процеси са жилите с полиметални и злато-полиметални руди във вулканските скали. Рудната минерализация е развита в два участъка – Канарата в централната част (в близост до Зидаровския интрузив) и Юрта в северсеверозаданата част на руднотото поле. Съставът на вулканските скали в Зидаровското рудно поле варира от базалти до трахиандезити. Субвулканският дайков комплекс има базалтов и трахибазалтов, а интрузивните скали - габров до монцо-диоритов състав. Скалите принадлежат основно към високо калиевата калциево-алкална магматична серия. Индикативни диаграми като Nb vs. Y, Rb vs. (Y+Nb), Rb vs. (Yb+Ta) и Zr/Al₂O₃ vs. TiO₂/Al₂O₃ onpedenят островно-дъгова обстановка на формиране. МОRB нормализираните разпределения на редките елементи в скалите (обогатяване на LILE и ниски стойности за HFSE), добре изразената негативна Та и Nb аномалия и хондрит-нормализираните разпределения P3E (обогатяване на LREE) определят субдукционна обстановка на формиране. Nd и Sr изотопни данни подкрепят този извод като показват мантийно-корови характеристики с *ε*-Nd (80 Ma) стойности основно между +2.1 и +3.0 и начални стронциеви отношения предимно в тесния интервал 0.704-0.705. В сравнение с данните от централното средногорие магматичните скали от Зидаровското рудно поле са по-малко корово кортаминирани. Същият тренд се наблюдава при сравняването то интрузивните и вулкански скали – вулканските скали показват по-примитивни изотопни състави, което се обяснява с по-бързата кристализация на вулканитите, вероятно преди контаминирането им с корови материали в средно/горно корови магмени камери.

Introduction

Europe's world-class copper-porphyry and Au-epithermal deposits are hosted by an elongated belt of intensive Late Cretaceous magmatic activity, known as the "Carpathian-Balkan Segment" of the "Tethyan Eurasian Metallogenic Belt" (JANKOVIC, 1976 and 1977), the "Banatitic Magmatic and Metallogenic Belt" (e.g. BERZA *et al.*, 1998, CIOBANU *et al.*,

2002) or the "Apuseni – Banat – Timok - Srednogorie belt" (ABTSB) (POPOV *et al.*, 2000, 2003). An abundant new data on the geodynamic control of various ore deposits, the geochronology and geochemistry of the Late Cretaceous magmatism and the specific features of the related Cu-Au deposits in ABTSB have been added during the activity of the GEODE (GEodynamic and Ore Deposit Evolution) project funded by the European Science Foundation. In the Srednogorie zone they were concentrated in the central part of the zone – the Panagyurishte region (see summary of VON QUADT *et al.*, 2005 and references there), as it hosts the most important economic deposits. Nevertheless the most extensive magmatic activity is manifested in the Eastern Srednogorie zone. The study of the latter helps to define the sources of the magma and allows understanding the geodynamic evolution of the region in Upper Cretaceous time.

In the present study we focus on the petrological and isotope-geochemical characteristics of the Zidarovo ore field (ZOF), as it hosts economic mineralization and provides good opportunity for studying of the link between the geodynamic settings, magmatism and ore formation. The aim of our investigation is to reconstruct the geological evolution of the Late Cretaceous magmatic complex, to identify the temporal and genetic relationships between its magmatic products and the mineralized zones of the ZOF and at least to define the tectonic evolution of the Late Cretaceous magmatic rocks in the area. We have combined field observations with representative whole rock major and trace element analyses and isotope Sm-Nd and Rb-Sr studies to define the magmatic sources and reconstruct the processes that produced the deposit.

Geological background and sampling

The Eastern Srednogorie zone is characterised by the most significant presence of volcano-intrusive structures in the Srednogorie zone. Intensive volcano-tectonic faulting, most often of radial-concentric type provides a suitable condition for precipitation of vein type ore bodies. This part of the Srednogorie zone hosts several ore districts and numerous ore deposits and occurrences. In the last 50 years they were the base for copper production as well as gold, silver, molybdenum and other elements as by-products.

The Bourgas ore region is located in the easternmost part of the Srednogorie zone. The copper ore deposits in this region are genetically related to the Late Cretaceous volcano-plutonic magmatism. The ZOF is situated 15 - 20 km south from the town of Bourgas in the area of Zidarovo, Izvor, Dimchevo and Krushevec villages. Its formation is determined by the development of the central Zidarovo volcano-plutonic structure. The latter is initially mentioned by STANISHEVA-VASSILEVA AND VASSILEV (1972) and is later characterized by RASHKOV et al. (1978) and POPOV (1981). The syn-postmagmatic hydrothermal activity was responsible for the formation of polymetallic and gold-polymetallic ore veins in the volcanic rocks. The ore mineralsation is developed in two sectors -Kanarata is in the central part (close to the Zidarovo intrusive) and Yurta is in the N-NW part of the ore field. These two sectors have a different mineral composition - Cu-Bi ore types predominate in Kanarata, whereas Cu-polymetallic mineral assemblages with gold are typical for Yurta (POPOV et al., 1993).

The region consists of Senonian volcanic, intrusive and sedimentary rocks (Fig. 1). ANTONOV *et al.* (1979) and POPOV *et al.* (1980) subdivided them into an olistostrome unit and Kasaldjishka, Novopanicherevska and Rosen formations. According to POPOV (1980) three stages of the Late Cretaceous magmatic activity are distinguished: effusive, subvolcanic and intrusive. These stages completely cover the



Fig. 1. Geological map of the Zidarovo ore field (after RASHKOV *et. al.*, 1978) with the location of some representative samples

description of the trachyandesitic-trachybasaltic, basaltictrachybasaltic and gabbro-syenitic stages of RASHKOV et al. (1978). During these consecutive stages the Zidarovo volcano, Zidarovo dyke ring complex and Zidarovo intrusive formed, as parts of the complex Zidarovo volcano-plutonic structure (POPOV, 1981). The volcanic rocks here are developed as a 2000-2500 m thick complex of intercalated lava flows and pyroclastic materials (POPOV, 1981). The lava flows have a concentric orientation and dominate in the lower and intermediate parts of the section. A neck and subvolcanic bodies mark the position of the main magma channel. The rocks of Zidarovo volcano could be correlated with the Vurly briag volcanites to the north and the Rosen volcanites to NE and E (POPOV et al., 1983). The volcanogenic sequence consists of trachy-andesites, trachybasalts, latites and trachytes (POPOV et al., 1983), and the composition of the dykes is analogous to the volcanic rocks. The Zidarovo intrusion penetrates the rocks of the effusive and dyke complex. It is emplaced in the central part of the caldera structure (Fig. 1) as an elongated to the north-west body (MARINOV AND BAJRAKTAROV, 1981, POPOV, 1981) and according to MARINOV (1980) consists of monzonites, monzodiorites, essexites, and alkaline quartz syenites.

Analytical techniques

The whole-rock major elements were analyzed by X-ray fluorescence (XRF) in the University of Salzburg, Austria. The trace and rare earth elements (REE) were analyzed by Laser ablation-inductively coupled mass spectrometry (LA-ICPMS) in the laboratories of the Institute of Isotope Geology and Mineral Resources, ETH Zurich, Switzerland. Sm-Nd and Rb-Sr data are measured with the isotope dilution technique.

Chemical composition of the rocks from Zidarovo ore field

The composition of the volcanic rocks and the dykes in the ZOF varies from basaltic to trachyandesitic and trachytic (Table 1, Fig. 2). On the SiO₂-K₂O diagram studied samples are classified as high-K calc-alkaline rocks (Fig. 3). SiO₂ content vary from 47.8 to 60 wt. % and show a positive correlation with the alkali content (Fig. 3).



Fig. 2. TAS diagram after LE MAITRE (1989) for representative samples from the ZOF: volcanites (triangles), subvolcanic rocks (circles), intrusive rocks (squares). B – basalt; BA – basaltic andesite; A – andesite; D – dacite; SH – shoshonite; TA – trachy-andesite; TD – trachydacite; T – trachyte; Pc - picro-basalt; TB – trachy-basalt; R – rhyolite



Fig. 3. SiO $_2$ vs. K_2O diagram (LE MAITRE (1989) for representative samples from the ZOF. Symbols as in Fig. 2

Table 1

Major element composition of the representative samples

Oxides	1013	1014b	113	114	115
wt. %	volcanic	volcanic	subvolcanic	intrusive	intrusive
SiO ₂	60,07	51,11	50,49	59,01	50,98
Ti₂O	0,43	0,56	0,75	0,55	0,68
Al ₂ O ₃	16,88	11,30	14,44	14,63	17,73
Fe ₂ O ₃	5,61	11,47	10,35	7,05	6,43
MnO	0,02	0,19	0,11	0,1	0,08
MgO	0,23	8,84	5,94	3,78	4,3
CaO	0,08	10,06	9,21	6,96	8,04
Na ₂ O	0,29	2,76	2,51	2,78	5,32
K₂O	13,43	0,36	2,77	2,78	0,88
P ₂ O ₅	0,23	0,33	0,68	0,52	0,75
Lol	2,67	3,04	2,17	1,89	3,99
Total	99,94	100,02	99,42	100,05	99,18

lab	е	2		
τ			١.	

Trace element composition (in ppm) of the representative samples

Elements	1013	1014b	113	114	115
Sc	96	42.3	37.0	33.0	25.5
v	156.6	268.5	324.7	349.9	309.9
Cr	49.6	392.6	92.3	59.0	61.7
MnO	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
Co	2.4	42.8	35.4	30.3	17.1
Ni	19.5	87.4	24.8	20.0	15.5
Cu	577.8	36.1	90.4	286.3	4.6
Zn	111.5	60.5	39.3	68.9	57.4
Ga	n. d.	n. d.	12.9	17.4	15.9
As	4.6	12.1	241.8	318.7	194.6
Rb	147.7	8.7	55.9	99.0	17.1
Sr	628.2	812.1	968.3	970.1	949.7
Y	11.4	14.3	18.5	21.5	21.7
Zr	74.2	37.5	48.2	54.7	73.7
Nb	3.6	1.5	2.1	2.4	3.0
Мо	1.5	0.6	0.6	1.3	0.7
Cs	1.1	0.2	2.0	4.4	1.6
Ва	1158.1	47.5	310.5	465.1	133.4
La	16.8	10.8	12.5	16.3	14.4
Ce	35.2	22.8	25.5	34.6	28.6
Pr	4.0	3.0	3.6	4.5	3.5
Nd	17.4	15.6	17.0	19.7	16.2
Sm	3.2	3.6	4.1	4.6	4.2
Eu	0.9	1.4	1.4	1.3	1.3
Gd	2.0	3.6	4.2	4.1	4.0
Tb	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6
Dy	2.1	3.0	3.4	3.8	3.7
Но	0.4	0.5	0.7	0.8	0.7
Er	1.0	1.5	1.8	2.2	2.1
Tm	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3
Yb	1.2	1.2	1.8	2.3	2.4
Lu	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3
Hf	1.6	1.0	1.5	1.7	2.1
Та	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2
W	2.0	0.5	0.9	3.4	1.7
Pb	124.2	10.1	44.4	51.2	34.3
Th	5.2	1.8	3.0	8.3	8.3
U	4.9	0.6	1.2	2.8	3.7



Fig. 4. MORB-normalized spider diagram (after PEARCE, 1983) for the investigated basalts from the Zidarovo deposit compared with typical basalt series related to subduction settings. High K calc-alkaline basalts of the New Hibrides arc from KAMENOV, 2003



Fig. 5. Chondrite normalized REE patterns of the basalts from Zidarovo ore field compared with additional different basaltic rocks (values from KAMENOV, 2003). Normalizing values after NAKAMURA, 1974

MORB normalized patterns for the magmatic rocks (Table 2, Fig. 4) indicate an enrichment of large ion lithophile elements (LILE) and low values for HFSE (high field strength elements – Ce, P, Zr and Hf). The strong negative Ta and Nb anomaly indicate subduction related magma affinity (Fig. 4). The elements with lower ionic potential (K, Na, Rb, Ba and Sr) show considerable variations. Ba values vary between 133 and 465 ppm, Rb is from 17 to 99 ppm and Sr from 892 to 1176 ppm in the Zidarovo intrusive rocks. In the dyke rocks these values are respectively between 297 and 310, 56-65, and 477-968, whereas for the volcanic rocks these intervals are 47-1504, 8-194, and 103-1060.

The LREE enrichment ranges from 20 to 51 (Fig. 5), whereas La_n/Yb_n ratios vary from 4 to 8. Middle and heavy REEs show relatively flat patterns, which are generally within 4–10 times that of chondrite. The dyke rocks show lower values of LREE compared with the intrusive rocks from the Zidarovo. The lack of Eu anomaly suggests that there was no plagioclase fractionation involved during the genesis of the volcanic rocks.

Comparing MORB-normalized trace element distribution of basalts from ZOF with typical basalt series in subduction settings a similarity with high-K and calc-alkaline basalts is observed (Fig. 4). The chondrite normalized REE pattern of the basalts from ZOF resembles this of calc-alkaline basalts (Fig. 5).

The Zr/Al₂O₃-TiO₂/Al₂O₃ diagram for potassic volcanic rocks from different tectonic settings (MULLER *et al.*, 1992) is used to discriminate within-plate rocks from oceanic arc rocks. The studied volcanic rocks from the ZOF fall in the fields of continental and postcollisional arcs (Fig. 6a). At the Ce/P₂O₃-Zr/TiO₂ discrimination diagram most of the samples falls in the field of the poscollisional arcs (Fig. 6b).

For distinguishing of granites from known tectonic settings the elements Rb, Y (and its analogue Yb) and Nb (and its analogue Ta) were selected as the most efficient discriminates. Discrimination diagrams of Pearce et al. (1984) are used, which are primary supposed to classify granites into oceanridge, volcanic-arc, within-plate and collisional types. A bivariate plot of Nb and Y is subdivided into three fields (Fig. 6c) – oceanic-ridge granites (ORG), within-plate granites (WPG) and volcanic-arc granites (VAG) together with syncollisional granites (syn-COLG). A plot of Ta and Yb is similar and allows the fields of syn-collisional and volcanic-arc granites to be separated (Fig. 6d). The discrimination diagram Rb vs. (Y+Nb) and Rb vs. (Yb+Ta) more efficiently separate syn-COLG from VAG and also gives clear division between WPG and ORG (Fig. 6e, f). Supra-subduction zone granites can fall in the VAG field. They may be identified on an Nb-Y diagram as they usually reveal lower Y content (Rollinson, 1993). On all diagrams the samples from Zidarovo magmatic rocks belong to the field of VAG.

Sr-Nd isotope data

Sm-Nd and Rb-Sr isotopes are measured on samples from ZOF which are characterized by detailed petrological studies. Preliminary ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd data for the intrusive rocks give evidence for mantle dominated magma source and the ε-Hf (corrected for 80 Ma) values range between 2.14 and 3.00. Similar values of *ε*-Nd in the gabbro and monzodiorite argue for a common source for both rock varieties. Compared with the data for the Central Srednogorie (VON QUADT et al., 2005) the rocks of Eastern Srednogorie crystallize from more primitive mantle magmas and are less contaminated with continental crust materials. These conclusions are confirmed by the Sr isotope data. The initial strontium ratio in the Late Cretaceous rocks of ZOF lay in a narrow range of 0.704-0.705 and only two out of ten samples reveal (87Sr/86Sr); close to 0.706. The dykes and volcanics are less enriched in radiogenic Sr, which emphasize the upper crust as most probable source of contamination in the intrusive rocks. The volcanic rocks on the other hand are less contaminated, as they are cooled faster and probably prior to contamination with crustal materials.

Conclusions

The magmatic rocks of Zidarovo ore field show wide compositional variation with some differences between the volcanic, subvolcanic and intrusive rocks. The major element compositions of the volcanic rocks define them as basalts to trachyandesites, the subvolcanic dyke complex has basaltic and trachybasaltic composition, and the intrusives are gabbros to diorites. All rock varieties belong to the calc-alkaline and high-K calc-alkaline magmatic series. Despite some variations in trace and REE-elements compositions Indicative bivariate diagrams as Nb vs. Y, Rb vs. (Y+Nb), Rb vs. (Yb+Ta) and Zr/Al₂O₃ vs. TiO₂/Al₂O₃ define volcanic-arc tectonic environment of their formation. MORB normalized trace elements patterns of the magmatic rocks (enrichment of large ion lithophile elements and low values for high field strength elements, the strong negative Ta and Nb anomaly indicate subduction related magma affinity. Chondrite-normalised REE patterns of the basaltic rocks confirm this conclusion. Nd and Sr whole rock isotope data reveal mantle-crustal signatures with ε -Nd (80 Ma) values generally between +2.1 and +3.0 and initial strontium ratios in the narrow range 0.704-0.705. Compared with the data for the Central Srednogorie the magmatic rocks from the Zidarovo ore field are less contaminated with crustal material. The same trend is observed comparing intrusive and volcanic varieties - the volcanic rocks reveal more primitive isotope composition, which is explained by the faster cooling of the volcanites, probably prior to contamination with crustal materials in middle/upper crustal chambers.



Fig. 6. Discrimination diagrams for potassic volcanic rocks (PVRs) from different tectonic settings (after Müller et al.,1992) – a) and b) showing the fields for within-plate PVRs (WIP), continental-arc (CAP) and continental/postcollisional PVRs (PAP), initial or late oceanic arc PVRs (IOP and LOP); Discrimination diagrams for granites (after Pearce et al., 1984) – c), d), e) and f), showing the fields of volcanic-arc granites (VAG), syn-collision granites (syn-COLG), within-plate granites (WPG) and ocean-ridge granites (ORG). a – Zr/Al₂O₃-TiO₂/Al₂O₃; b – Ce/P₂O₃-Zr/TiO₂; c – Nb-Y; d – Ta-Yb; e – Rb-(Y+Nb); f – Rb-(Yb+Ta)

Acknowledgements

This work was supported by the Swiss National Science Foundation through the SCOPES Joint Research Projects 7BUPJ62396, the Bulgarian National Science Foundation through the project NZ-1412 and by the SE Europe Geoscience Foundation. Present study is a contribution to the ABCD-GEODE (Geodynamics and Ore Deposits Evolution of the Alpine-Balkan-Carpathian-Dinaride Province) research program supported by the European Science Foundation.

References

- Antonov, M., I. Bairaktarov, A. Petrova, P. Popov and L. Naftali. 1977. Upper Cretaceous Resedimentation Phenomena in the North-Eastern Strandja, SE Bulgaria. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 30, 10. 1951-1954 (in Bulgarian).
- Kamenov, B. 2003. *Magmatic Petrology*. Sofia University, Sofia, 871 p. (in Bulgarian).
- Le Maitre R.W. 1989. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Oxford, Blackwell, 193.

- Marinov, T. 1980. Alkaline Intrusion rock in the area of the village of Zidarovo, Bourgas region. *J. Bulg. Geol. Soc.*, *41*, *2*, 112-119 (in Bulgarian).
- Marinov, T., I. Bajraktarov. 1981. Petrological characteristic of the subvolcanic dyke rocks from the Zidarovo magmatic complex. J. Bulg. Geol. Soc., 42, 1: 56-66. (in Bulgarian).
- Müller, D., Rock, N.M.S. and Groves, D.I., 1992. Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic setting: a pilot study. – *Mineralogy and Petrology*, 46, 259-289.
- Nakamura, N., 1974. Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. – *Geochim. Cosmochim. Acta*, *38*, 757-775.
- Pearce, J. A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. – In: C. J. Hawkesworth and M. J. Norry (eds.) *Continental basalts* and mantle xenoliths: 230-249.
- Pearce, J. A., N. B. W. Harris, and A. G. Tindle. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. – J. Petrol., 25, 956-983.
- Popov, P. 1981. Structure of the Zidarovo ore field. J. Bulg. Geol. Soc., 42, 1, 45-55 (in Bulgarian).

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

- Popov, P., Kovachev, V., Strashimirov, S., Jelev, V., Arnaudova, R., Banushev, B., Stavrev, P and Radichev, R. 1993. *Geology and Metallogeny of the Bourgas Ore Region.* MGU, Sofia, 93 p. (in Bulgarian).
- Rashkov, R., Bajraktarov, I., Popov, P., Marinov, T., Naftali, L., Antonov, M. and Antimova, C. 1978. Stages of the development of the Senonian volcanism in the Zidarovo ore field. – 25 years Mining and Geology University, 95-104 (in Bulgarian).
- Rollinson, H. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific & Technical, New York, 343 p.
- Stanisheva-Vasileva, G. and Vasilev L., 1972: About presence of the Late Cretaceous paleovolcanic structure in the area of the village Zidarovo and its ore importance. – Ore *Mining*, 3, 9–12. (in Bulgarian).
- Von Quadt, A., Moritz, R., Peytcheva, I. and Heinrich, C.A., 2005. Geochronology and geodynamics of Late Cretaceous magmatism and Cu–Au mineralization in the Panagyurishte region of the Apuseni–Banat–Timok– Srednogorie belt (Bulgaria). – Ore Geology Review, 27, 95-126.

K/T BOUNDARY IN THE TURBIDITE SEQUENCE OF THE EMINE FORMATION NEAR KOZICHINO VILLAGE, BOURGAS DISTRICT (EASTERN BALKAN): FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES

Boris Valchev

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

ABSTRACT. Totally 80 species (20 planktic and 60 benthic) were established in the foraminiferal assemblages from the K/T boundary interval near Kozichino Village. Planktic foraminifers are divided into three groups: Cretaceous, survivors and Paleocene ones. Cretaceous forms occur with rare or single specimens and this fact makes difficult the biostratigraphical characterization of the interval which is referred to the Abathompalus mayaroensis Zone. The K/T boundary was localized without any difficulty, because of the very clear taxonomical change. The Paleocene part of the section is referred to Pα and P1a Zone. The P0 Zone was not defined because *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva) and *Eoglobigerina fringa* (Subbotina) appear in the lowermost Paleocene sample.

The investigated boundary interval is characterized by comparatively uniform benthic foraminiferal assemblages dominated by agglutinated taxa. Common species in all samples are *Bathysiphon discreta* (Brady), *Ammodiscus glabratus* Cushman & Jarvis, *Dendrophrya excelsa* Grzybowski, *Saccammina placenta* (Grzybowski), *Spiroplectinella dentata* (Alth). Hyaline forms are rare with exception of the uppermost Cretaceous and the lowermost Paleocene samples where they are dominating component. Their main representative is *Quadrimorphina allomorphinoides* (Reuss). As a whole there are no any changes across the K/T transition in the benthic assemblage taxonomical composition and structure.

Key words: foraminifera, K/T boundary, Emine Formation, Eastern Balkan

ГРАНИЦАТА КРЕДА/ТЕРЦИЕР В ТУРБИДИТИТЕ НА ЕМИНСКАТА СВИТА ПРИ С. КОЗИЧИНО, БУРГАСКА ОБЛАСТ (ИЗТОЧНА СТАРА ПЛАНИНА): ФОРАМИНИФЕРНИ АСОЦИАЦИИ

Борис Вълчев

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

РЕЗЮМЕ. 80 вида (20 планктонни и 60 бентосни) бяха установени в изследваните фораминиферни асоциации от граничния интервал Креда/Терциер при с. Козичино. Планктонните фораминифери са поделени на три групи: кредни, преживяващи и палеоценски. Кредните форми се срещат предимно като редки и единични екземпляри и този факт затруднява биостратиграфското характеризиране на този интервал, който може да бъде отнесен към зона Abathompalus mayaroensis. Границата К/T се локализира без никакви затруднения, поради много ясната промяна в таксономичния състав на асоциациите. Палеоценската част от разреза се отнася към зоните Рα и Р1а. Зона Р0 не е дефинирана, тъй като видовете *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva) и *Eoglobigerina fringa* (Subbotina) се появяват още в най-долната палеоценска проба.

В изследвания граничен интервал се наблюдават сравнително еднообразни бентосни фораминиферни асоциации, които с редки изключения са доминирани от аглутинирани форми. Характерни видове за всички проби са *Bathysiphon discreta* (Brady), *Ammodiscus glabratus* Cushman & Jarvis, *Dendrophrya excelsa* Grzybowski, *Saccammina placenta* (Grzybowski), *Spiroplectinella dentata* (Alth). Хиалинните бентосни форми са по-слабо представени, като само в пробите непосредствено около граничния слой те доминират количиствено над аглутинираните. В тези проби основният елемент на асоциациите е *Quadrimorphina allomorphinoides* (Reuss). Като цяло не се констатира промяна в таксономичния състав и структурата на бентосните асоциации при преминаването на граничния слой.

Ключови думи: фораминифери, граница Креда/Терциер, Еминска свита, Източна Стара планина

Introduction

The Eastern Balkan is of great interest for the K/T boundary researchers, because the boundary clay layer in Bulgaria was first described from this part of the country – near Byala Town, Varna District (Stoykova, Ivanov, 1992). Another nine outcrops were found later (Fig. 1): N of Emona Village (Sinnyovsky, Stoykova, 1995), Kozichino Village and Aytos Pass (Sinnyovsky, Vangelov, 1997), Marash River south of Kotel (Стойкова et al., 2000), "Chudnite Skali", Коzya River, Razkrachenitsa River (Вангелов, Синьовски, 2000; Sinnyovsky, 2001), N of Cape Kochan (Sinnyovsky, 2004), and near Goritza Village (Stoykova et al., 2004).

As the majority of the publications have described the mass extinction event at the K/T boundary from nerritic or hemipelagic deposits (for example Gubbio, El Kef, Caravaca, Agost, etc.) the present article aims to reveal the foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleocene boundary in a turbidite sequence.

The section near Kozichino Village is the first place where the boundary layer in Bulgaria was established in turbidite deposits (the second one is N of Cape Kochan, while in the section N of Emona Village the layer was not found). It was first described by Sinnyovsky (2003) who localized biostratigraphically the boundary by means of calcareous nannofossils. The section is one of the five protected outcrops of the K/T boundary in Bulgaria.



Fig. 1. Location of the K/T boundary outcrops in the Eastern Balkan: 1 – Geotope "Belite Skali"; 2 – N of Emona Village; 3 – Geotope "Kozichino"; 4 – Aytos Pass; 5 – Marash River; 6 – "Chudnite Skali"; 7 – Razkrachenitsa River; 8 – Geotope "Kozya Reka"; 9 – N of Cape Kochan; 10- Goritza Village; scale 1:540000

The boundary interval is well exposed (Fig. 2) and it belongs to the uppermost part of the Emine Flysh Formation (Гочев, 1932; Бончев et al., 1957; Джуранов, Пимпирев, 1989). The section is located along the valley in the south outskirts of Kozichino Village (Figs. 2, 3).



Fig. 2. Location of the K/T boundary in the turbidite sequence of the Emine Flysh Formation near Kozichino Village (Photo by D. Sinnyovsky)

The interval from 7 m below to 10 m above the K/T boundary layer was sampled (Fig. 4). All planktic and benthic specimens from 63 μ m, 100 μ m, 200 μ m and 310 μ m residue were investigated.

Results

Totally 80 species (20 planktic and 60 benthic) were established in the foraminiferal assemblages from the boundary interval.

Planktic foraminifera

Three groups of planktic species could be described: Cretaceous, survivors, and Paleocene ones (Fig. 4). **Cretaceous forms.** Over 10 typical Cretaceous forms were established in the samples bellow the boundary layer, but as rare or single specimens. The most characteristic amongst them is *Planoglobulina acervulinoides* (Egger), while species like *Heterohelix planata* (Cushman), *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli), *Globotruncanita stuartiformis* (Dalbiez), *Globotruncana arca* (Cushman), *Pseudotextularia elegans* (Rzehak), *Rugoglobigerina rugosa* (Plummer), *Planoglobulina brazoensis* Martin were found in single samples.

Survivors. Two groups of survivors could be described from this section. The first one includes Heterohelix globulosa (Ehrenberg) and Laeviheterohelix glabrans (Cushman), which are typical Maastrichtian species. They were found in all Paleocene samples near Kozichino. The second group comprises species known from the micropaleontological literature as typical examples for planktic forms continuing their stratigraphical distribution across the K/T boundary in many sections all over the world. The group is represented by Guembelitria cretacea Cushman, Muricohedbergella holmdelensis (Olsson), and M. monmouthensis (Olsson). Characteristic feature of these three taxa is that they were not found in the samples bellow the boundary layer. G. cretacea disappear at +3,5 m, M. holmdelensis - at +1,0 m, and M. monmouthensis - at +2,0 m.

Paleocene forms. The taxonomical composition of the planktic foraminiferal assemblages above the boundary layer is marked by comparatively abundant occurrence of *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva), and *Eoglobigerina fringa* (Subbotina) which appear in the lowermost Paleocene sample. Characteristic elements are also *Subbotina triloculinoides* (Plummer) which first appearance was marked at a level of +0,80 m, *Globoconusa daubjergensis* (Broennimann), first occurring at +2,5 m and disappearing at + 4,0 m, and *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) first occurring at +4,0 m.

All Paleocene planktic forms were derived from the 100 μm and 63 μm residue.



Fig. 3. Geological map of the area of Geotope "Kozichino" in scale 1:25000 (after Джуранов et al., 1997): 1 – Emine Formation (Maastrichtian – Lower Paleocene): alternation of sandstones, sultstones, mudstones, marls and limestones; 2 – Dvoynitsa Formation (Paleocene): thick bedded to massive sandstones interbedded by siltstones, mudstones and marls; 3 – Tepetarla Formation (Paleocene): alternation of limestones, sandstones and siltstones with marls and clays; 4 – faults: a - normal, b – reverse fault; 5 – dip and strike of bedding: a - normal, b - vertical, c - overturned; 6 – location of the geotope; 7 – line of the geological section

Benthic foraminifera

The investigated boundary interval is characterized by comparatively uniform foraminiferal assemblages dominated by agglutinated taxa. Common species amongst them in all samples are Bathysiphon discreta (Brady), Ammodiscus glabratus Cushman & Jarvis, Dendrophrya excelsa Grzybowski, Saccammina placenta (Grzybowski), Spiroplectinella dentata (Alth) which are almost uniformly distributed. Subsidiary elements to the assemblage structure are species like Bathysiphon sp., Rhizammina indivisa Brady, Ammodiscus cretaceous (Reuss), Trochamminoides dubius (Grzybowski), Paratrochamminoides irregularis White, Hyperammina dilatata Grzybowski, Repmanina charoides (Jones & Parker), *Marssonella* spp., which occur as rare or single specimens.

As a whole the hyaline benthics are rare with exception of the uppermost Cretaceous and the lowermost Paleocene samples where they dominate quantitatively in the assemblages. The most common amongst them is *Quadrimorphina allomorphinoides* (Reuss). Uniformly distributed in all samples are *Gyroidinoides girardanus* (Reuss) and *Oridorsalis megastomus* (Grzibowski), while forms like *Nodosaria limbata* d'Orbigny, *Lenticulina* spp., *Guttulina irregularis* (d'Orbigny), and *Chilostomelloides* sp. occur as single specimens at different levels of the section.



Fig. 4. Column section across the K/T boundary in the turbidite sequence of the Emine Flysh Formation near Kozichino Village with the stratigraphical range of the planktic foraminifera and selected benthic taxa: 1 – sandstones; 2 – marls; 3 – mudstones; 4 – K/T boundary layer; 5 – sample

As a whole there are no changes in the taxonomical composition and assemblage structure across the K/T boundary.

Discussion

The K/T boundary interval near Kozichino Village is comparatively rich of planktic foraminifers which is not typical for the turbidite sequences. It is interesting that the Cretaceous assemblages are less abundant that the Paleocene ones. As it was above mentioned Cretaceous forms occur with rare or single specimens and this fact makes difficult biostratigraphical characterization of the interval. The presence of the index species allowed me to refer the lower 7 m of the section to the Abathompalus mayaroensis Zone. Taxonomical composition of the planktic assemblages allowed me to localize the K/T boundary without any difficulty, because the change is very clear (not typical for turbidite deposits). The first occurrence of *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva) and *Eoglobigerina fringa* (Subbotina) in the lowermost Paleocene sample did not enabled me to define the P0 Zone, which confirms the presence of a short hiatus noted by Sinnyovsky (2003).

The clear presence of *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva) in the fist six meters above the K/T boundary is a reason for defining of the upper boundary of the P α Zone. The uppermost 4 m of the studied section could

be referred to P1a Zone because of the occurrence of the zonal marker *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer).

The absence of any taxonomical changes in the benthic assemblages is a typical feature for the flysh deposits of the Tethys region and their taxonomical composition allows referring them to the so called Flysh-type benthic assemblages.

Conclusions

The well exposed turbidite sequence of the Emine Flysh Formation near Kozichino Village, Bourgas District was investigated from planktic and benthic foraminiferal point of view. The Cretaceous part of the studied section contains poor planktic assemblages and that is why it is difficult to characterize biostratigraphically this interval. The K/T boundary was marked easily because of the clear planktic foraminiferal change. 5 species could be considered as survivors. All of them were derived from the 63 µm and 100 µm residue.

Paleocene planktic assemblages are more abundant than the Cretaceous ones which is not typical for the K/T transitions. The taxonomical composition allowed me to define two zones - $P\alpha$ and P1a. The lowermost Paleocene P0 Zone was not defined, which confirms the presence of a short hiatus as a possible reason.

Benthic foraminifera show the typical features for the Upper Cretaceous-Paleogene flysh-type assemblages of the Tethys region – uniform taxonomical composition and structure without changes across the K/T boundary and strongly dominated by agglutinated taxa.

References

- Sinnyovsky, D. 2001. Periodites from the Cretaceous-Tertiary boundary interval in several sections from East Bulgaria. *C. R. Acad. Bulg. Sci.* 54, 4, 65-73.
- Sinnyovsky, D. 2003. Five protected outcrops of the Cretaceous/Tertiary boundary in Bulgaria. Ann. UMG, 46, Part I, Geol. and Geophys., 141-147.
- Sinnyovsky, D. 2004. Nannosossil subdivision and stratigraphic range of the Emine Flysh Formation in East Balkan, East Bulgaria. – Ann. UMG, 47, Part I, Geol. and Geophys., 131-137.

APPENDIX

List of planktic and benthic foraminiferal species found in the present study

Cretaceous planktic foraminifera

Abathomphalus mayaroensis (Bolli, 1951) Globotruncana arca (Cushman, 1926) Globotruncanita stuartiformis (Dalbiez, 1955) Guembelitria cretacea Cushman, 1933 Heterohelix globulosa (Ehrenberg, 1840) H. planata (Cushman, 1938) Laeviheterohelix glabrans (Cushman, 1938)

- Sinnyovsky, D., K. Stoykova. 1995. Cretaceous / Tertiary boundary in the Emine Flysch Formation, East Balkan (Bulgaria). - C. R. Acad. Bulg. Sci., 48, 3, 45-48.
- Sinnyovsky, D., B. Valchev, D. Sinnyovska. 2002. Cretaceous/Tertiary boundary in the Carpathian type Upper Cretaceous near the village of Kladorub, Vidin District. – Ann. UMG, 45, Part I, Geol., 1-5.
- Sinnyovsky, D., D. Vangelov. 1997. Biostratigraphy and relationships between Dvoynitsa and Tepetarla Formations in the East Balkan, Eastern Bulgaria. – C. R. Acad. Bulg. Sci., 50, 2, 63-66.
- Stoykova, K. H., M. I. Ivanov. 1992. An uninterrupted section across the Cretaceous/Tertiary boundary at the town of Bjala, Black Sea Coast (Bulgaria). – C. R. Acad. Bulg. Sci., 45, 7, 61-64.
- Stoykova, K., S. Juranov, M. Ivanov. 2004. New locality of the K/T boundary in Byala Fm. Near Goritza, E. Bulgaria.– Ann. Sci. Conf. "Geology 2004", 83-85.
- Бончев, Е., Е. Белмустаков, М. Йорданов, Ю. Карагюлева. 1957. Главните линии в геоложкия строеж на Предбалкана между долината на Янтра и Черно море. – Изв. геол. инст. БАН, 5, 3-78.
- Вангелов, Д., Д. Синьовски, 2000. Нови данни за стратиграфията на горнокредно-палеогенските скали и развитието на седиментационните обстановки в част от Източния Предбалкан. – Год. СУ, Геол.-геогр. ф-т, 93, кн. 1, Геол., 39-64.
- Гочев, П., 1932. Геоложки наблюдения по Черноморското крайбрежие между устието на р. Камчия и н. Емине. *Сп. Бълг. геол. д-во, 4,* 3, 200-213.
- Джуранов, С., Х. Пимпирев. 1989. Литостратиграфия на горната креда и палеогена в приморската част на Източна Стара планина. Сп. Бълг. геол. д-во., 30, 2, 1-18.
- Джуранов, С. и др. 1997. Доклад за геоложко картиране в М 1: 25000 и геоморфоложко картиране в М 1:50 000 на части от Еминска Стара планина и Айтоска Стара планина. Геофонд КГМР.
- Синьовски, Д. 1998. Високоразделителна стратиграфия на горнокредно-палеоценските скали в Мездренско. – Год. МГУ, 42, св. 1, Геол., 7-19.
- Стойкова, К., М. Иванов, В. Беливанова, Р. Костов, Р. Цанкарска, Т. Илиева. 2000. Интегрирани стратиграфски, седиментоложки, и минералогогеохимични изследвания на границата Креда/Терциер в България. – Сп. Бълг. геол. д-во, 61, 1-3, 61-75.

Muricohedbergella holmdelensis (Olsson, 1964) M. monmouthensis (Olsson, 1960) Planoglobulina acervulinoides (Egger, 1899) P. brazoensis Martin, 1972 P. carseyae (Plummer, 1931) Pseudotextularia elegans (Rzehak, 1891) Racemiguembelina fructicosa (Egger, 1902) Rugoglobigerina rugosa (Plummer, 1926)

Paleogene planktic foraminifera

Eoglobigerina fringa (Subbotina, 1950) Globoconusa daubjergensis (Broennimann, 1953) Parasubbotina pseudobulloides (Plummer, 1926) Parvulorugoglobigerina eugubina (Luterbacher & Premoli Silva, 1964) Subbotina triloculinoides (Plummer, 1926)

Subbolina Infocultiones (Plummer, 1926)

Cretaceous/Paleogene small benthic foraminifera

Ammodiscus cretaceus (Reuss, 1845) A. glabratus Cushman and Jarvis, 1928 Ammosphaeroidina pseudopauciloculata (Mjatliuk, 1966) Aragonia velascoensis (Cushman, 1925) Arenobulimina dorbignvi (Reuss, 1845) Bathysiphon discreta (Brady, 1881) Bathysiphon sp. Chilostomelloides sp. Clavulinoides sp. Cribrostomoides sp. Cyclammina sp. Dendrophrya excelsa Grzybowski, 1898 Dorothia cubensis Cushman and Bermudez, 1936 Ellipsoglandulina chilostoma (Rzehak, 1895) Gavelinella beccariiformis (White, 1928) Glomospira irregularis (Grzybowski, 1898) Guttulina irregularis (d'Orbigny, 1846) Gyroidinoides girardanus (Reuss, 1851) Haplophragmoides walteri (Grzybowski, 1898) Hormosina ovulum ovulum (Grzybowski, 1896) Hyperammina dilatata Grzybowski, 1896 Laevidentalina sp. Lenticulina inornata (d'Orbigny, 1846) L. velascoensis White, 1928 Lituotuba sp. Marginulina sp. Marssonella indentata (Cushman and Jarvis, 1928) M. oxycona (Reuss, 1860)

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

Nodosaria aspera Reuss, 1845 ? N. hispida (Soldani, 1791) N. limbata d'Orbigny, 1840 Nuttalides trümpyi (Nuttal, 1930) Oridorsalis megastomus (Grzibowski, 1896) O. umbonatus (Reuss, 1851) Osangularia florealis (White, 1928) Paratrochamminoides irregularis White, 1928 Psammosphaera sp. Pseudonodosaria cylindracea (Reuss, 1845) Pseudoclavulina globulifera ten Dam and Sigal, 1950 Pullenia iarvisi Cushman, 1936 Pvamaeoseistron hispidum (Reuss, 1858) P. oxystomum Reuss, 1858 Pyramidulina velascoensis (Cushman, 1926) Pyrulinoides cylindroides (Roemer, 1838) Quadrimorphina allomorphinoides (Reuss, 1860) Recurvoides sp. Remesella varians (Glaessner, 1937) Repmanina charoides (Jones and Parker, 1860) Reussoolina apiculata (Reuss, 1851) Rhizammina indivisa Brady, 1884 Saccammina placenta (Grzybowski, 1898) Spiroplectinella dentata (Alth, 1850) Subreophax scalaria (Grzybowski, 1896) Textularia sp. Trochammina deformis Grzybowski, 1898 T. guadriloba (Grzybowski, 1896) Trochamminoides coronatus (Brady, 1879) Trochamminoides dubius (Grzybowski, 1901) Trochamminoides proteus (Karrer, 1866) Vaginulinopsis earlandi (Plummer, 1926)

PLANKTIC FORAMINIFERAL CHANGES ACROSS THE K/T BOUNDARY IN THE CARPATHIAN TYPE UPPER CRETACEOUS AND PALEOCENE NEAR KLADORUB VILLAGE, VIDIN DISTRICT (NW BULGARIA)

Boris Valchev¹, Sava Juranov²

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

² Sofia University "St. Kliment Ohridski", Sofia 1504; juranov@gea.uni-sofia.bg

ABSTRACT. Three groups of planktic foraminiferal species from the Cretaceous/Tertiary boundary interval of the Carpathian type Upper Cretaceous and Paleocene near Kladorub Village could be divided: Cretaceous, survivors, and Paleocene ones. The uppermost 5 m of the Cretaceous section show considerable taxonomical diversity and uniform assemblage composition and structure. The assemblages are dominated by *Heterohelix* spp., *Pseudotextularia elegans*, *Globotruncana arca*, *Globotruncanita stuartiformis*, *Planoglobulina* spp. The stratigraphical range of this part of the section comprices the uppermost part of Abathomphalus mayaroensis Zone. The survivors' group is represented by *Heterohelix* spp., *Muricohedbergella* spp., and *Guembelitria cretacea*. The renewal of the planktic assemblages in the beginning of the Paleocene starts with the abundant occurrence of *Parvulorugoglobigerina eugubina*, which dimensions are up to 125 µm. Later eoglobigerinds, represented mainly by *Eoglobigerina fringa*, *E. eobulloides*, *E. edita*, become dominating group. Subsidiary components of the assemblages are *Parasubbotina pseudobulloides* and rarely *Guembelitria cretacea*, *Chilloguembelina morsei*, *Woodringina claytonensis* etc. The stratigraphical range of the lowermost 5 m of the Paleocene Guembelitria cretacea Zone was not defined.

Key words: planktic foraminifera, K/T boundary, Carpathian type Upper Cretaceous and Paleocene, NW Bulgaria

ПРОМЕНИ В ПЛАНКТОННАТА ФОРАМИНИФЕРНА ФАУНА НА ГРАНИЦАТА КРЕДА/ТЕРЦИЕР В КАРПАТСКИЯ ТИП ГОРНА КРЕДА И ПАЛЕОЦЕН ПРИ С. КЛАДОРУБ, ВИДИНСКО (СЗ БЪЛГАРИЯ) Борис Вълчев¹, Сава Джуранов²

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

² Софийски университет "Св. Климент Охридски", София 1504; juranov@gea.uni-sofia.bg

РЕЗЮМЕ. Планктонните фораминифери от граничния интервал Креда/Терциер в Карпатския тип Горна Креда и Палеоцен при с. Кладоруб могат да бъдат поделени на три групи видове: кредни, преживяващи и палеоценски. Най-горните 5 m от кредния разрез се характеризират със значително таксономично разнообразие и постоянен таксономичен състав и структура на фораминиферните асоциации. Доминиращи са Heterohelix spp., Pseudotextularia elegans, Globotruncana arca, Globotruncanita stuartiformis, Planoglobulina spp. Стратиграфският обхват на тази част от разреза попада изцяло в най-горните нива на зона Abathomphalus mayaroensis. Групата на преживяващите видове включва основно Heterohelix spp., Muricohedbergella spp. и Guembelitria cretacea. Обновяването на асоциациите от планктонни фораминифери от началото на Палеоцена в изучавания разрез започва с масовата поява на Parvulorugoglobigerina eugubina, чийто размери не надвишават 125 µm. По-късно масово се развиват и преобладават еоглобигеринидите, представени найвече от *Eoglobigerina fringa, E. eobulloides, E. edita.* В асоциацията участват още Parasubbotina pseudobulloides и по-рядко Guembelitria cretacea, Chilloguembelina morsei, Woodringina claytonensis и др. Стратиграфският обхват на първите 5 метра от палеоценския разрез включва зона Parvularugoglobigerina eugubina и долната част от зона Parasubbotina pseudobulloides. Не е дефинирана най-долната палеоценска зона Guembelitria cretacea.

Ключови думи: планктонни фораминифери, граница Креда/Терциер, Карпатски тип Горна Креда и Палеоцен, СЗ България

Introduction

Since the advent of the impact theory (Alvarez et al., 1980) the K/T boundary has been investigated worldwide in several aspects – stratigraphical, paleontological, sedimentological, mineralogical, geochemical, etc. Detailed study of this interval in Bulgaria started at the end of the 80s of the 20th century. Continuous sequences in several facial types have been established (see Sinnyovsky et al., 2002; Sinnyovsky, 2003). Five of them (including the section near Kladorub Village) were proposed for protected geosites (Sinnyovsky, 2003). Integrated stratigraphical, sedimentological and mineralogicalgeochemical study was made in 7 sections across the K/T boundary in Bulgaria (Стойкова et al., 2000). In paleontological aspect the K/T boundary interval in all studied sections have been investigated mainly by means of calcareous nannofossils (Stoykova, Ivanov, 1992; Preisinger et al., 1993a, b; Ivanov, Stoykova, 1994, 1995; Sinnyovsky, Sultanov, 1994; Sinnyovsky, Stoykova, 1995; Rögl et al., 1996; Стойкова, Иванов, 1996; Sinnyovsky, Vangelov, 1997; Синьовски, 1999; Вангелов, Синьовски, 2000; Sinnyovsky, Petrov, 2000; Sinnyovsky, 2001; Sinnyovsky et al., 2002; Stoykova, Ivanov, 2002, 2004; Sinnyovsky, 2004a, b; Stoykova et al., 2004). Macrofossils like ammonites and echinoids have been used in two sections - S of Moravitsa Village (ammonites and echinoids - Стойкова et al., 2000) and near Byala Town (ammonites – Ivanov, 1993; Ivanov, Stoykova, 1994, Иванов, 1995; Стойкова, Иванов, 1996; echinoids – Илиева, 1998,

Ilieva, 2000), while the planktic (Rögl et al., 1996; Adatte et al., 2002; Stoykova et al., 2004) and benthic foraminifera (Вълчев, 2001) have been studied only in the sections near Byala Town.



Fig. 1. Collumn section across the K/T boundary in the Kladorub Formation: 1 – bioclastic limestones; 2 – siltstones and marls; 3 – K/T boundary dark clay layer; 4 – sample

The aim of this article is to elucidate the taxonomical changes in the planktic foraminiferal assemblages across the Ctretaceous/Paleocene transition in the fine-grained terrigenous sequence of the Kladorub Formation ("Sinaya Cretaceous" – Бончев, 1923; "Carpathian type Cretaceous" – Ц. Цанков, 1961, 1963; В. Цанков, 1968; "Kladorub Complex" – Тzankov, 1972; "Kladorub Formation" – Дечева et al., 1990; Филипов et al., 1995).

We chose the section SE of Kladorub Village, Vidin District for detailed study of planktic foraminiferal changes across the K/T boundary because of the following reasons: 1) the boundary interval is well exposed and can be easily sampled; 2) clarified lithology (Sinnyovsky et al., 2002); 3) detailed biostratigraphical subdivision based on calcareous nannoplankton of the whole Upper Campanian – Paleocene section (Sinnyovsky, 2004b). The geological map with the location of the studied section was published by Sinnyovsky et al. (2002).

Material and methods

The studied samples were derived from the outcrop section along the Tsiganskiya Dol from 5 m bellow up to 5 m above the 3-4 cm dark clay layer (Fig. 1). After crushing and treating by Na₂SO₄ the samples were sieved through 310 μ m, 200 μ m, 125 μ m, and 63 μ m. Planktic foraminiferal remains from all the residues were investigated.

Planktic foraminiferal assemblages

Three groups of planktic foraminifers were established in the K/T boundary interval near Kladorub village according to their stratigraphical range: Cretaceous, survivors, and Paleocene ones.

Cretaceous forms

The uppermost 5 m below the boundary clay layer are characterized by high taxonomical diversity - over 30 species (Fig. 2), and uniform taxonomical composition and structure. The assemblages are composed of various heterohelicids, globotruncanids, and rugoglobigerinids. The dominating taxa include Heterohelix punctulata (Cushman), H. striata Planoglobulina acervulinoides (Egger), P. (Ehrenberg), brazoensis Martin, Pseudotextularia elegans (Rzehak), Globotruncana (Cushman), G. falsostuarti Sigal, arca Globotruncanita stuartiformis (Dalbiez), Rugoglobigerina rugosa (Plummer). Common species are Heterohelix globulosa (Ehrenberg), Laeviheterohelix dentata (Stenestad). Racemiguembelina fructicosa (Egger), Globotruncana roseta (Carsey), Globotruncanita stuarti (de Lapparent), Abathomphalus mayaroensis (Bolli). Rare or single contributors like Heterohelix rajagopalani (Govindan), Planoglobulina carseyae (Plummer), Pseudotextularia intermedia de Klasz, Pseudoguembelina palpebra Brönnimann and Brown, Contusotruncana contusa (Cushman), Globotruncana aegyptiaca Nakkady. Globotruncanita conica (White), Globotruncanella citae (Bolli), G. havanensis G. petaloidea (Gandolfi), Rugoglobigerina (Voorwijk), hexacamerata Brönnimann, R. macrocephalla Brönnimann also occur. All of the above listed species disappear at a level of +3 cm which corresponds to the upper limit of the K/T boundary clay layer.

Survivors

A total 7 Cretaceous species may be considered as possible survivors. The most characteristic amongst them are Heterohelix navaroensis Loeblich, H. planata (Cushman), Laeviheterohelix glabrans (Cushman), and L. pulchra (Brotzen), which were found in the whole studied 10 m long interval. They are comparatively abundant in the Cretaceous part of the section, while above the boundary layer they become rare or single. Another two Cretaceous forms -Muricohedbergella holmdelensis (Olson) and М monmouthensis (Olson) could be referred to the group of survivors. They are rare in the Cretaceous samples and rare or single in the Paleocene. Their representatives disappear at a level of +3.0 m.

Upper Maastrichtian	Lower Paleocene
Abathomphalus mayaroensis Zone	Pv. eugubina Parasubbotina pseudobulloides Zone
	D +1 +2 +3 +4 +5
	Heterohelix globulosa (Ehrenberg)
	Heterohelix punctulata (Cushman)
◀	<i>Heterohelix rajagopalani</i> (Govindan)
	Heterohelix striata (Ehrenberg)
\checkmark	Laeviheterohelix dentata (Stenestad)
	Planoglobulina acervulinoides (Egger)
\checkmark	Planoglobulina brazoensis Martin
	Planoglobulina carseyae (Plummer)
	Pseudotextularia elegans (Rzehak)
	Pseudotextularia intermedia de Klasz
	Racemiguembelina fructicosa (Egger)
	Contusotruncana contusa (Cushman)
	Globotruncana aegyptiaca Nakkady
	Globotruncana arca (Cushman)
	Globotruncana falsostuarti Sigal
	Giobotruncana roseta (Carsey)
	Globotruncanita stuarti (de Eapparent)
	Globotruncanila sitae (Bolli)
	Globotruncanella bavanensis (Voorwijk)
	Globotruncanella petaloidea (Gandolfi)
	Abathompalus mavaroensis (Bolli)
	Rugoglobigerina hexacamerata Broennimann
	Rugoglobigerina macrocephala Broennimann
	Rugoglobigerina rugosa (Plummer)
	Pseudoguembelina palpebra Broennimann & Brown
Heteronelix nava	roensis Loeblich
	aulans (Cushinan)
Muricohedbergella monmouthensis (Olson)	
Guembelitria cretacea Cushman	
I	
Parvularugoglobigerina eugubina (Luterbacher & Premoli Silva)	
Parvularugoglobigerina sabina (Blow)	
Chilloguembelina morsei (Kline)	
Woodringina claytonensis Loeblich & Tappan	
Eoglobigerina fringa (Subbotina)	
Eoglobigenna eobulioides (Morozova)	
Eoglobigenna edita (Subbotina)	
Chilloquembalina midwavensis (Cushman)	
Globanomalina archaeocompressa (Blow)	
Parasubbotina pseudobulloides (Plummer)	
Globanomalina planocompressa (Shutskava)	
Eoglobigerina spiralis (Bolli)	
Parasubbotina varianta (Subbotina)	
Praemurica inconstans (Subbotina)	
Globoconusa daubjergensis (Broennimann)	
Subbotina triloculinoides (Plummer)	

Fig. 2. Stratigraphic range of the planktic foraminiferal taxa from the K/T boundary interval in Tsiganskiya Dol near Kladorub Village

The last survivor in the section near Kladorub Village is the triserial *Guembelitria cretacea* Cushman. It is absent in the Cretaceous samples, but occur in the lowermost Paleocene just after the main planktic foraminiferal extinction event.

Paleocene forms

The lowermost 5 m of the Paleocene section, are marked by lower taxonomical diversity than the uppermost Cretaceous

interval - about 17 typical Paleocene species (Fig. 2). In the first Paleocene sample *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva), *Pv. sabina* (Luterbacher & Premoli Silva), *Chilloguembelina morsei* (Kline) and *Woodringina claytonensis* Loeblich & Tappan occur, as parvulorugoglobigerinids dominate strongly in the assemblages. Immediately above this level, mass occurrence of eoglobigerinids was established. They are represented by

Eoglobigerina fringa (Subbotina), Eo. eobulloides (Morozova), Eo. edita (Subbotina), Eo. simplicissima (Blow). Together with these species, the first occurrence of Chilloguembelina midwayensis (Cushman) was noted. The diversity of the assemblages at the higher levels continues to increase with the occurrence of Globanomalina archaeocompressa (Blow) and Parasubbotina pseudobulloides (Plummer), as the occurrence of the first taxon precedes the occurrence of the second one. At the level of the first occurrence of Parasubbotina pseudobulloides (Plummer) (+1.5 m) the sizes of all planktic foraminifers are smaller than 125 µm. This crisis in planktic foraminiferal sizes was observed up to the top of the studied section (+5,0 m). At the base of the same interval. changes in the assemblage composition were observed. On one hand, parvulorugoglobigerinids disappear, and on the other hand the biserial and triserial planktic foraminifers become dominating component. In the larger size fractions (>200 µm) we found Upper Cretaceous taxa only, probably reworked. In the upper part of the interval between +3,5 and +5,0 m FAD of species such as, Parasubbotina varianta (Subbotina), Globanomalina planocompressa (Shutskaya), spiralis Eoglobigerina (Bolli), Praemurica inconstans Globoconusa (Subbotina) and single daubjergensis (Broennimann) was noted. At the top of the 5 m Paleocene interval, FAD of Subbotina triloculinoides (Plummer) was found.

Biostratigraphical notes

Three zones were defined in the 10 m Upper Cretaceous-Paleocene studied section (Figs. 1, 2): Abathomphalus mayaroensis, Parvularugoglobigerina eugubina and Parasubbotina pseudobulloides.

Abathomphalus mayaroensis Interval Zone

Definition. The interval from FAD of Abathomphalus mayaroensis (Bolli) to the extinction of most of Cretaceous taxa.

Remarks. The zone corresponds to the zone of the same name of Premoli Silva, Verga (2004). In Tsiganskiya Dol section we distinguished the upper part of the zone, as it comprises the whole 5 m studied Cretaceous interval.

Parvularugoglobigerina eugubina Interval Zone

Definition. The interval from FAD of *Parvulorugoglobigerina* eugubina (Luterbacher & Premoli Silva) to FAD of *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer).

Remarks. The zone corresponds to the zone of the same name in El Kef section (Arenillas, et al., 2000) and with P£ Zone of Blow (1979), but it differs from the P£ Zone of Berggren et al. (1995). In Tsiganskiya Dol section, the zone includes the interval from 0 to +1,5 m above the K/T boundary.

Parasubbotina pseudobulloides Interval Zone

Definition. The interval from FAD of Parasubbotina pseudobulloides (Plummer) to FAD of Globanomalina compressa (Plummer).

Remarks. The zone corresponds to Parasubbotina pseudobulloides Zone (Arenillas, et al., 2000, 2004), Globigerina pseudobulloides Zone (Bolli, 1966) and P1a Zone (Blow, 1979). In the studied 5 m Paleocene interval in Tsiganskiya Dol section we found out the lower part of the zone, covering the interval between +1,5 and +5,0 above the

K/T boundary. This interval corresponds to Eoglobigerina trivialis Subzone (Arenillas et al., 2004). It was distinguished between two distinct events – FAD of *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) and FAD of *Subbotina triloculinoides* (Plummer).

Conclusions

The Cretaceous/Tertiary boundary interval in Tsiganskiya Dol SE of Kladorub Village (Vidin District) was investigated from planktic foraminiferal point of view. The well-exposed Upper Cretaceous-Paleocene sequence contains well preserved planktic foraminiferal assemblages which allowed us to elucidate the taxonomical changes in this interval.

Rich and diverse Upper Cretaceous assemblages (over 30 species), showing uniform taxonomical composition and structure, were established in the 5 m interval below the K/T boundary layer. About of 80% of them become extinct at the K/T boundary. 7 taxa only could be considered as survivors. We ignored the presence of Cretaceous specimens, larger than 200 μ m, found in single samples above the boundary layer. They were assumed to have been reworked and hence were not listed as survivors on Fig. 2.

The Paleocene planktic foraminiferal assemblages in the upper 5 m of the studied section are of relatively low diversity – 17 typical Paleocene species have been established. Only two of them – *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva) and *Pv. sabina* (Luterbacher & Premoli Silva) disappear in the studied interval, while the other ones continue their development in the upper levels of the section.

The Paleocene section in Tsiganskiya Dol started with Parvulorugoglobigerina eugubina Zone. Guembelitria cretacea Zone cannot be discerned here like in other deep sea sections (Olsson, Liu, 1993). Unique in a certain sense is the change in the size of the typical Paleocene foraminifers. Most frequently, at the base of the Paleocene, the test sizes are below 125 μ – for example Byala section, Goritsa section, etc. (Adatte et al., 2002; Stoykova et al., 2004). In Tsiganskiya Dol section the crisis in test sizes was observed in the upper levels of Parvulorugoglobigerina eugubina Zone and lower levels of Parasubbotina pseudobulloides Zone.

The first appearance of *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) is an event which precedes the extinction of *Parvulorugoglobigerina eugubina* (Luterbacher & Premoli Silva). The appearance of *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) is clearly discernible event and it can be used more successfully as a datum level. Therefore, we define the first Paleocene planktic foraminiferal zone as an interval zone unlike the cases, when Pv. eugubina Zone was defined as Total Range zone and its upper boundary is marked by the index taxon extinction (Berggren et al., 1995). By finding the FAD of *Parasubbotina pseudobulloides* (Plummer) and *Subbotina triloculinoides* (Plummer) it is proved that this part of the section belongs to the lower part of Parasubbotina pseudobulloides Zone.

References

- Adatte, T., G. Keller, S. Burns, K. H. Staoykova, M. I. Ivanov, D. Vangelov, U. Kramar, D. Stüben. 2002. Paleoenvironment across the Cretaceous-Tertiary transition in eastern Bulgaria. – In: Adatte, T., Koeberl, C. MacLeod, K. G., Eds., *Catastrophic Events and Mass Extinctions: Impacts and Beyond*. Boulder, Colorado, Geol. Soc. Am., Sp. Paper 356, 231-251.
- Alvarez, L. W., W. Alvarez, F. Asaro, H. V. Michel. 1980. Extraterrestrial cause for Cretaceous/Tertiary extinction. – *Science*, 269, 5226, 930-935.
- Arenillas, I., J. Arz, E. Molina, Ch. Dupuis. 2000. An independent test of planktic foraminiferal turnover across the Cretaceous/Paleogene (K/T) boundary at El Kef, Tunisia: Catastrophic mass extinction and possible survivorship. – *Micropaleont.*, 46, 1, 31-49.
- Arenillas, I., J. Arz, E. Molina. 2004. A new high-resolution planktic foraminiferal zonation and subzonation for the lower Danian. –*Lethaia*, 37, 1, 79-95.
- Berggren, W. A., D. V. Kent, C. C. Swisher III, M.-P. Aubry. 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy.- Geochronology Time Scales and global Stratigraphic Correlation, SEPM Spec. Publication 54, 129-212.
- Blow, W. H. 1979. *The Cainozoic Globigerinida*, 3 vols., E. J. Brill, Leiden, 1413 p.
- Bolli, H. M. 1966. Zonation of Cretaceous to Pliocene marine sediments based on planktonic foraminifera. – Boletino Informatio Asociacion Venezolana de Geologia, Minera y Petroleo, 9, 3-32.
- Ilieva, T. 2000. Echinoids from the Cretaceous/Tertiary boundary sequence at Byala, Varna Area, Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 30, 1-2, 49-57.
- Ivanov, M. 1993. Uppermost Maastrichtian ammonites from the uninterrupted Upper Cretaceous-Paleogene section at Bjala (East Bulgaria). – Geologica Balc., 23, 4, 54.
- Ivanov, M., K. Stoykova. 1994. Cretaceous/Tertiary boundary in the area of Bjala, Eastern Bulgaria – biostratigraphical results. – Geol. Balc., 24, 6, 3-22.
- Ivanov, M., K. Stoykova. 1995. The Cretaceous/Tertiary boundary and the "Mass Extinction" problems as could be seen in the sections around Bjala (East Bulgaria). – C. R. Acad. Bulg. Sci., 48, 2, 77-79.
- Olsson, R., C. Liu. 1993. Controversies on the placement of Cretaceous – Paleogene boundary and the K/P mass extinction of planktonic foraminifera. – *Palaios*, *8*, 127-139.
- Preisinger, A., S. Aslanian, K. Stoykova, F. Grass, H. J. Maurititsch, R. Sholger. 1993a. Cretaceous/Tertiary boundary sections on the coast of the Black Sea near Bjala (Bulgaria). – *Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol.*, 104, 219-228.
- Preisinger, A., S. Aslanian, K. Stoykova, F. Grass, H. J. Maurititsch, R. Sholger. 1993b. Cretaceous/Tertiary boundary sections in the East Balkan area, Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 23, 5, 3-13.
- Premoli Silva, I., D. Verga. 2004. Practical Manual of Cretaceous Planktonic Foraminifera. International School on Planktonic Foraminifera, 3° Course: Cretaceous (Verga & Rettori eds.) Universities of Perugia and Milan, Tipografia Pontefelicino, Perugia (Italy), 283 p.

- Rögl, F., K von Salis, A. Preisinger, S. Aslanian, H. Summesberger. 1996. Stratigraphy across the Cretaceous/Paleogene boundary near Bjala, Bulgaria. – Geologie de l'frique et de l'tlantique Sud: Actes Colloques Angers 1994, 673-683.
- Sinnyovsky, D. 2001. Periodites from the Cretaceous-Tertiary boundary interval in several sections from East Bugaria. *C. R. Acad. Bulg. Sci., 54*, 4, 65-73.
- Sinnyovsky, D. 2003. Five protected outcrops of the Cretaceous/Tertiary boundary in Bulgaria. Ann. UMG, 46, Part I, Geol. and Geophys., 141-147.
- Sinnyovsky, D. 2004a. Nannosossil subdivision and stratigraphic range of the Emine Flysh Formation in East Balkan, East Bulgaria. *Ann. UMG, 47, Part I, Geol. and Geophys.*, 131-137.
- Sinnyovsky, D. 2004b. Calcareous nannoplankton biostratigraphy of the Carpathian Type Upper Cretaceous-Paleocene deposits near Kladorub village, Vidin District. – Ann. UMG, 47, Part I, Geol. and Geophys., 139-145.
- Sinnyovsky, D., G. Petrov. 2000. Nannofossil evidences for Maastrichtian-Paleocene age of Kladorub Formation in North-west Bulgaria. – C. R. Acad. Bulg. Sci., 53, 11, 41-44.
- Sinnyovsky, D., K. Stoykova. 1995. Cretaceous/Tertiary boundary in the Emine Flysh Formation, East Balkan, Bulgaria: nannofossil evidences. – C. R. Acad. Bulg. Sci., 48, 3, 45-48.
- Sinnyovsky, D. S, A. T. Sultanov. 1994. Biostratigraphy and sedimentology of the Emine Flysh Formation in the near-shore part of the East Balkan. *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 47, 1, 73-76.
- Sinnyovsky, D., B. Valchev, D. Sinnyovska. 2002. Cretaceous/Tertiary boundary in the Carpathian type Upper Cretaceous near the village of Kladorub, Vidin District. – Ann. Univ.MG, 45, Part I, Geol., 1-5.
- Sinnyovsky, D., D. Vangelov. 1997. Biostratigraphy and relationships between Dvoynitsa and Tepetarla Formations in the East Balkan, Eastern Bulgaria. *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, *50*, 2, 63-66.
- Stoykova, K. H., M. I. Ivanov. 1992. An uninterrupted section across the Cretaceous/Tertiary boundary at the town of Bjala, Black Sea Coast (Bulgaria). – C. R. Acad. Bulg. Sci., 45, 7, 61-64.
- Stoykova, K. H., M. I. Ivanov. 2002. Event and sequence stratigraphy of the Maastrichtian and Danian in Bulgaria. – *Geologica Balc.*, 32, 2-4, 55-61.
- Stoykova, K. H., M. I. Ivanov. 2004. Calcareous nannofossils and sequence stratigraphy of the Cretaceous/Tertiary transition in Bulgaria. – J. Nannoplankton Res., 26, 1, 47-61.
- Stoykova, K., S. Juranov, M. Ivanov. 2004. New locality of the K/T boundary in Byala Fm. near Goritza, E. Bulgaria. *Ann. Sci. Conf. "Geology 2004"*, 83-85.
- Tzankov, Tz. 1972. Jungalpidische Deformationen im Krajnagebiet (Nordwestbulgarien). – *Geologie*, 21, 1, Berlin, 24-60.
- Бончев, С. 1923. Геология на Тимошката окрайнина. Сп. Бълг. природоизпит. д-во, 10, 1-20 (I-III).
- Вангелов, Д., Д. Синьовски, 2000. Нови данни за стратиграфията на горнокредно-палеогенските скали и развитието на седиментационните обстановки в част от Източния Предбалкан. – Год. СУ, Геол.-геогр. ф-т, 93, кн. 1, Геол., 39-64.

- Вълчев, Б. 2001. Дълбоководни бентосни фораминифери от палеоценската серия в приморската част на Източна Стара планина. – *Автореф. на дисертация*, С., 40 с.
- Дечева, А., Л. Филипов, И. Хайдутов, Ц. Цанков, Е. Коюмджиева, Н. Попов. 1990. *Геоложка карта на НР България, картен лист Заечар и Бор, М 1:100 000*. С., КГМР, Предпр. за геофиз. проучв. и геол. картиране.
- Иванов, М. 1995. Амонити от горния мастрихт в разрезите около гр. Бяла (Източна България). Сп. Бълг. геол. дво, 56, 3, 57-73.
- Илиева, Т. 1998. Промяна на ехинидната фауна около границата креда-терциер в разрезите при гр. Бяла, Варненско. Сп. Бълг. геол. д-во, 59, 3, 133-138.
- Синьовски, Д. 1999. Високоразделителна стратиграфия на горнокредно-палеоценските скали в Мездренско. Год. МГУ, 42, св. 1, Геол., 7-19.
- Стойкова, К., М. Иванов. 1996. Промени в морската безгръбначна фауна и нанофлора на границата Креда/Палеоген с примери от български разрези. – В: Новости в геологията на България, С., VI конгрес на БГД, 92-93.

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

- Стойкова, К., М. Иванов, В. Беливанова, Р. Костов, Р. Цанкарска, Т. Илиева. 2000. Интегрирани стратиграфски, седиментоложки, и минералогогеохимични изследвания на границата Креда/Терциер в България. – Сп. Бълг. геол. д-во, 61, 1-3, 61-75.
- Филипов, Л., А. Дечева, Е. Коюмджиева, Н. Попов, Ц. Цанков, И. Хайдутов. 1995. Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100 000, картен лист Видин. С., ЕТ "Аверс", 60 с.
- Цанков, В. 1968. Горна Креда. В: Стратиграфия на България (ред. Цанков, В.). С., Наука и изкуство, 253-294.
- Цанков, Ц. 1961. Бележки за взаимоотношенията между Южните Карпати и Балканидите в Северозападна България. – *Тр. геол. България, Сер. стратигр. и тект., 3*, 173-251.
- Цанков, Ц. 1963. Стратиграфия карпатского типа мела в районе Кулы (Северозападная Болгария).- В: КБГА, V съезд, Бухарест, 1961, Науч. сообщ., Секц. II (Стратиграфия), 207-219.

УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОЕКТИ В ГАЗОСНАБДЯВАНЕТО

Георги Николов, Маргарита Найденова

Овергаз Инк. АД, София 1407

РЕЗЮМЕ. В съвременните национални икономики енергетиката обуславя темповете на развитие на всяка страна. Развитието на единна газоснабдителна система осигурява енергийна сигурност и ефективно използване на енергията. Проектите, свързани с газоснабдяването обхващат всички нива - от разработката на находища, проектирането и изграждането на магистрални газопроводи и разпределителни мрежи, газоизмервателни и газорегулиращи станции до доставката на природен газ на крайни клиенти. Това са проекти, които като уникални процеси се състоят от съвкупност от координирани и управлявани дейности, предприемани за постигане на цел, съответстваща на конкретни изисквания и ограничения в срокове, цени и ресурси. Като проекти с висока стойност на една или множество от променливите си – висок риск, продължителност, с голямо географско и териториално покритие, с висока цена, реализируеми със сложна организационна структура са сложни проекти, за които се търсят гъвкави иновационни /иновативни/ технологии за управление. Управлението на тези инфраструктурни, нерядко международни и глобални проекти включва планирането, проследяването и контролът на всички аспекти, за да се постиганта целите на проекта в рамките на определеното време, бюджет, качество и изпълнение. Разгледани са функциите (планиране, контрол, анализ, мониторинг, оценка и т.н.) и подсистемите (управление на качеството, времето, оценка на рисковете и т.н.)

фази на проектните цикли - от инициирането и анализа на инвестиционните възможности до реализацията на проектите в газоснабдяването.

PROJECT MANAGEMENT IN GAS SUPPLY

Georgy Nikolov, Margarita Naydenova

OVERGAS Ink. AD, Sofia 1407

ABSTRACT. In the national economies nowadays the energy sector determines the growth rate of each country. The development of an integrated gas supply system provides for energy security and efficient use of energy. Gas supply related projects incorporate all levels – from gas fields development, designing and construction of mains and gas distribution networks, gas metering and

Gas supply related projects incorporate all levels – from gas fields development, designing and construction of mains and gas distribution networks, gas metering and regulating stations to gas supply to end users. These are projects which, being unique processes, consist of a combination of coordinated and managed activities, undertaken to achieve a goal matching specific requirements and limitations in terms of deadlines, prices and resources. As projects with high value of one or a number of their variables – high risk, duration, high extent of geographic and territorial coverage, high costs, feasibility through complex organizational structure, they are complex projects demanding innovative management technologies.

The management of these infrastructure, quite often international and global, projects involves planning, monitoring and control of all aspects so that the project goals are achieved within the set time, budget, quality and implementation framework

The report deals with the functions (planning, control, analysis, monitoring, assessment etc.) and subsystems (quality control, time, risk assessment, etc) in terms of the basic phases of the project cycles – from inception and analysis of investment possibilities to implementation of gas supply projects.

В съвременните национални икономики енергетиката обуславя темповете на развитие на всяка страна. Безспорно това твърдение важи и за нефто-газовия сектор, като определящ за енергетиката. Водещите световни тенденции за повишаване ролята на газа като основен енергоносител, определят значението от интензивното развитие на газоснабдяването и в страната ни.

Газоснабдяването е "съвкупност от дейностите по добив, пренос, съхранение, разпределение и доставка на природен газ, с цел осигуряване на нуждите на потребителите. Обектите и съоръженията за извършване на тези дейности на територията на всяка страна, които са свързани помежду си, функционират в единна газоснабдителна система с общ режим на работа." Единната газоснабдителна система е част от енергийната система на страната. Развитието й осигурява енергийна сигурност и ефективно използване на енергията. Газоснабдителната система (ГС) включва източниците на природен газ (газовите, газокондензатните, газонефтените находища), преносните системи (магистрални газопроводи, танкерен транспорт на втечнен, сгъстен природен газ), газохранилища, разпределителни системи и потребителите (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на газоснабдителна система

Като сложна йерархична система, газоснабдителната система включва множество подсистеми, посочени погоре, всяка от които може да се разглежда отделно: добив, съхраняване, пренос, разпределение, снабдяване.

Проектите, свързани с газоснабдяването обхващат всички нива - от разработката на находища, проектирането и изграждането на магистрални газопроводи разпределителни мрежи. газоизмервателни и газорегулиращи станции до доставката на природен газ на крайни клиенти. Това са проекти, които като "уникални процеси се състоят от съвкупност от координирани и управлявани дейности, предприемани за постигане на цел, съответстваща на конкретни изисквания и ограничения в срокове, цени и ресурси" (БДС-EN-ISO 9000).

Характеристиките на тези проекти включват: обхват, размер, риск, време, цена, качество, организация, технологично ниво, естество на работа, сложност на проекта и др. Променливите, от които зависи успеха на един отделен проект - обхват, цена, време и качество, са свързани в т. нар. "принцип на четириъгълника". Според най-новите теории за управление на проектите, успехът на проекта зависи от повече фактори, от по-голямо множество променливи, в т.ч. географски обхват, икономически сектор, проектна среда и др., с отчитане на техните взаимовръзки.

След възникване на идеята за проект, тя се оценява като приемлива едва след изготвянето на комплексен икономически. (технически. търговски. екологичен. социален, организационен) проектен анализ. целта на които е определяне на резултатите от реализацията на Основен момент в работата проекта през прединвестиционната (началната) фаза на проекта е разработката на технико-икономическа обосновка (ТИО), по чиито резултати се приема инвестиционно решение и предварително съгласие за осъществяване на проекта. На този етап се разработва и бизнесплан – основен документ, позволяващ да се оцени и обоснове проекта.

Всеки проект, в т.ч. и проектите, свързани с газоснабдяването се характеризират с т.нар. жизнен цикъл, който е съвкупност от фазите на проекта и служи за дефиниране на началото и края на проекта. Разделянето на проекта на фази осигурява по-добър контрол и позволява до голяма степен да се унифицират и автоматизират сходните дейности в иначе уникални проекти. Всяка фаза завършва с отчитане на резултата (отделен продукт от работата, който е проверяем). Продължителността и важността на всяка фаза може да варира в различните проекти, но по същество се разделят на:

- фаза на иницииране, в т.ч. проучване;
- фаза на проектиране и оценка;
- финансово одобрение;
- фаза на изпълнение;
- приключване.



Фиг. 2. Схема на проектен цикъл (по Waren C. Baum "Project Cycle", издание на Световната банка, 1993 г.)

Газоснабдителните системи, както и проектите, свързани с тях се характеризират с:

• динамична разнородна околна и пазарна среда;

• неопределеност и ниска точност на изходната информация;

- значителни по размер инвестиции;
- сложност;

 наличие на функционално интегрирани задачи с иновационни елементи;

• необходимост от кадри с висока квалификация в различни области – маркетинг, проучване, планиране, проектиране, строителство, финансиране, управление и др.;

 държавно регулиране на част от дейностите: пренос, съхранение, разпределение и доставка на природен газ;

• необходимост от бърза реакция при изменение на пазара;

• необходимост от координация в действията на повече от една организация в процеса на реализация на проектите;

Характеристиките на газоснабдителните системи предопределят прилагането на методологията на Управлението на проекти – "методология за организиране, планиране, ръководене, координиране на човешки и материални ресурси в продължение на жизнения цикъл на проекта (наричан още проектен цикъл), насочена към ефективно достигане на неговите цели посредством използването на система от съвременни методи, техника и технологии за управление за получаване на определени в проекта резултати относно състава и обема на работите, стойността, времето и качеството" (Мазур и др., 2004).

Приложението на методологията за Управлението на проекти безусловно е целесъобразно за проекти, свързани с комуникационните, енергийните, строителните и други технологии, които се характеризират с динамика в развитието. Методите на Управлението на проекти позволяват ефективно да се управляват времевите, количествените и качествените параметри на бъдещите уникални продукти или услуги, които ще бъдат създадени. Управлението на проекти е съвкупност от взаимосвързани процеси, а всеки процес е серия от действия, които водят до резултат. Процесите се извършват от хора и попадат в една от двете основни категории:

• процеси на управлението, свързани с описание и организиране на работата по проекта; Процесите на управление на проектите са свързани помежду си и протичат с различна интензивност през всички стадии на проекта по начин, посочен на фиг.3

(www.projectmanagement.ru).

• процеси, ориентирани към продукта, свързани със спецификация и създаване на проектния продукт или услуга. Тези процеси определят жизнения цикъл на проекта и зависят от областите на приложение.



Фиг. 3. Схема на фазите в процесите на Управление на проекти.

В проектите, свързани с газоснабдяването, процесите на управлението и процесите, ориентирани към продукта се наслагват и си взаимодействат.

Функциите при управлението на проекта, като интерактивна група от управленски задължения, прилагани във всички фази от цикъла на проекта, от всички участници в проекта, за постигане на целите на проекта (Developa Consult, Project Management), са:

• Управление на интегритета на проекта – описва процесите, необходими за гарантиране на правилното координиране на различните елементи на проекта. Състои се от разработване на план на проекта, изпълнението му и цялостен контрол на промяната му (за газопроводните това е същността на PIMS);

• Управление на обхвата на проекта – описва процесите, необходими да се гарантира включване на всички видове дейности, която се изисква, за да се приключи успешно проекта. Състои се от иницииране, планиране на обхвата, дефиниране на обхвата, проверка на обхвата и контрол на промяната на обхвата;

• Управление на времето и продължителността на проекта – описва процесите, необходими за гарантиране на навременното изпълнение на проекта. Състои се от определяне на дейностите, тяхната последователност и контрол на графика за изпълнението им;

• Управление на разходите по проекта – описва процесите, необходими да се гарантира изпълнението на проекта в рамките на утвърдения бюджет. Състои се от планиране на ресурсите, оценка, бюджетиране и контрол на разходите;

• Управление на качеството на проекта – описва процесите, необходими да се гарантира удовлетворяване на нуждите, заради които е приет проекта. Състои се от планиране, гарантиране и контрол на качеството; • Управление на човешките ресурси по проекта – описва процесите, необходими да се постигне найпълноценно използване на хората, включени в проекта. Състои се от организационно планиране, набиране на персонал и развитие на екипа;

• Управление на информацията и комуникациите по проекта – описва процесите, необходими за гарантиране на навременното и точно генериране, събиране, съхранение и локализиране разпространение. на информацията по проекта. Състои се от планиране на информацията, комуникациите, разпределение на отчитане на изпълнението И административно приключване;

• Управление на доставянето на стоки и услуги описва процесите, необходими за доставяне на стоки и услуги от външни организации за нуждите на проекта. Състои се от планиране на доставките на стоки и услуги, планиране и организация на търгове за определяне на доставчици, администриране и приключване на договори за доставка на стоки и услуги (изключителна важност има точността на спецификациите на материали и оборудване);

• Управление на ресурсите - описва процесите, необходими за гарантиране на ресурсите и запасите от тях, необходими за изпълнение на проекта.

• Управление на риска по проекта - описва процесите, свързани с идентифициране, анализиране и третиране на рисковете в проекта. Състои се от идентифициране и определяне на размера на риска, планиране на действия за предотвратяване и неутрализиране на риска, разработване на действия за третиране на риска и контрол (например, рискът от замърсяване на околната среда е предизвикал увеличаване на инвестициите за Трансаляскинския нефтопровод с ~1 млрд. \$).

Описването на функциите (планиране, контрол, анализ, мониторинг, оценка и т.н.) и подсистемите (управление на качеството, времето, оценка на рисковете и т.н.) по основните фази на проектните цикли (от инициирането и анализа на инвестиционните възможности до реализацията) са предпоставка и гаранция за успешното управление на проектите в газоснабдяването, включващо и успешното им приключване.

За управлението на проектите от огромно значение е използваното програмно осигуряване. Изборът на програмни продукти предполага съпоставяне на функционалните възможности с функциите, изпълнявани от управляващите проектите и техния екип. За да бъде взето решение за избор на програмно осигуряване е необходим сравнителен анализ, само не по функционалните възможности, но и по съотношение цена/качество. Съществуват различни подходи при класификация на програмното осигуряване за управление на проекти, в т.ч. по стойност и по количество на поддържаните функции на професионално и работно ниво. Най-разпространените на пазара програмни продукти за управление на проектите са:

• Microsoft Project 2000, с производител Microsoft Corporation;

- Spider Project, с производител Spider Technologies Group;
- Time Line 6.5., с производител Time Line Solution Corporation;
- Open Plan (Open Plan Professional, Open Plan Desktop

Open Plan Enterprise), с производител WST Corporation;

• Primavera Project Planner 3.0, с производител Primavera Systems Inc.;

• Artemis Views, с производител Artemis International и др.

Създаването и използването на интегрираните управленски системи и технологии, основаващи се на съвременните програмни средства осигурява ефективното управление на проектите.

За да се гарантира успешното управление на проектите в газоснабдяването е необходимо те да бъдат категоризирани правилно, което ще осигури възможност, както за прилагането на широко използвани и доказали ефективността си практически подходи, базирани на съвременните теории и най-добрите световни практики за управление на проекти, така и прилагането на специфичен и нетрадиционен подход при управлението им. Класифицирането на проектите по следните признаци: мащаби (размери) на проекта, срокове за реализация, изисквания към качеството на изпълнението, изисквания за ограничение на ресурсите в съвкупността на проекта, сложност на проекта, конструктивното изпълнение, участниците в проекта, мястото и условията за реализация на проекта и по причината за възникването му, обосновават т. нар. специални проекти, към които спадат и проектите за газоснабдяване. В тях един от изброените фактори играе доминираща роля и изисква особено внимание, а влиянието на останалите фактори се неутрализира с помощта на стандартни процедури за контрол.

В зависимост от класификацията на видовете проекти (Мазур, И., В. Шапиро, Н.Ольдерогте, 2004), проектите в газоснабдяването са :

- по мащаб мегапроекти;
- по сложност комплексно сложни;
- по срок на реализация дългосрочни;
- по изисквания към качеството бездефектни;

 по изисквания за ограничение на ресурсите – мултипроекти;

 по характер на проекта / място и условия за реализация
национални (държавни, териториални, местни) или международни (съвместни);

 по главна причина за възникването им – откриващи нови възможности;

по участниците в проекта и методите им на работа – организационно-сложни;

- по обект на инвестиционната дейност- инвестиционни.

Разработването и развитието на газоснабдителните системи са сложни проекти, за които при наличието на техническите, организационни и ресурсни задачи, решението им предполага използването на нетривиални подходи или повишени разходи, напр. използване на нетрадиционни технологии на строителството, значителен брой на участници в проекта, сложна схема на финансиране и др. Проектите в газоснабдяването, включително и тези, които се реализират в страната ни – от разработката на находища, изграждането на преносни и разпределителни мрежи, до доставката на природен газ на крайни клиенти се характеризират с редица отличителни черти, които ги определят и като сложни инфраструктурни мегапроекти, а именно:

- продължителна реализация над 5 години;
- висока стойност над 1 млн. лева стотици милиони;
- капиталоемкост потребността от финансови средства за такива проекти, по правило, изискват нетрадиционни (акционерни, смесени и т.н.) форми на финансиране, обикновено чрез консорциуми;
- трудоемкост (над 100 хил. човекочаса за проектиране и 1 млн. човекочаса за строителство);
- необходимост от участие на повече от една страна;

 отдалеченост на районите за реализация, следователно допълнителни разходи за инфраструктура;

• влияние на социалната и икономическата среда в страната като цяло.

Затова проектите в енергетиката и в частност, в нефтогазовата промишленост са типични примери за сложни, инвестиционни, нерядко международни мегапроекти. Характерни примери за отраслеви енергийни мегапроекти са проектите в газоснабдяването. Едни от най-големите мащабни (крупни) проекти, свързани с развитието на единни газотранспортни системи са:

 Проекта "Син поток между Русия и Турция по дъното на Черно море;

 Транскаспийския газопровод за експорт на каспийски природен газ за Турция и Европа през Азербайджан – с участие на международни корпорации (Shell и PSG International) и Грузия, Азербайджан, Туркменистан и Турция (оценява се на 2,5 млрд. USD.);

 Проекта "НАБУКО" – от Иран до Западна Европа с участието на Турция, България, Румъния, Унгария, Австрия, с прогнозни капацитет - 30 млрд. m3/год. и инвестиции ~ 4,6 млрд. USD;

 Северно-европейски газопровод между Русия и Германия по дъното на Балтийско море;

• Втечняване и транспорт на газ от Щокмановското газово находище (Русия);

• Газопровод Томск-Пекин и др.

Фактът за съществуването на глобални проекти, включително и в областта на газоснабдяването налага нуждата от създаването на единни международни стандарти за управление на проектите. Отражението на глобализацията върху управлението на проекти се разглежда в два основни аспекта: глобализация на професията ръководител на проекта и реализация на множеството глобални проекти и необходимост от унифициране на методите за управлението им. В момента съществуват множество квалификации и стандарти, с различен обхват, съдържание и предназначение, в т.ч. на организация Международната ПО стандартизация, Международната асоциация по управление на проекти, Асоциацията по управление на проекти на Великобритания, Стандартите на Института за софтуер, Стандарт PRINCE за управление на проекти в
контролирана среда и др. За управление на проектите са установени базови стандарти: PMBOK Guide, ISO 10006, BS 6079, DIN 69900, APM BOK, ICB, Prince 2 и т.н. Развитието на междунационалните концепции, отнасящи се до управлението на глобалните проекти трябва да осигури ефективна база за реализирането на международни инициативи на бизнеса и правителствата. За осъществяване на трансграничните инициативи трябва да се установят практики за управление на проекти на национално, регионално, международно и глобално ниво.

В началото на 21 век, в страните с развита пазарна икономика управлението на проектите е престанало да бъде само средство за управление на последователността и темпа на изпълнение на работата, с цел нейното своевременно завършване. Опитът на развитите страни (Германия, Русия, Япония, Китай, САЩ и др.) свидетелства за това, че системата за управление на проекти е мощно средство за изхода от кризисни ситуации и е метод за решаване на мащабни научни, производствени и социални проблеми. То е средство за управление в изменящи се условия и в развиващи се системи, в условия на нестабилност и неопределеност, в условия на слабо контролируем ръст на цените и дефицит на ресурсите, отказ на държавата от непосредственото ръководство на производствено-стопанските дейности на предприятията, в условия на поява на частни инвеститори, нестабилна данъчна система и др.

Бързо променящият се свят, в който живеем оказва изключително влияние върху развитието на практиките по управление на проекти. Отраслите от науката и икономическите области, свързани с управлението на проекти се глобализират и интегрират.

Проектите в газоснабдяването, като проекти с висока стойност на една или множество от променливите си – висок риск, продължителност, с голямо географско и териториално покритие, с висока цена, реализируеми със сложна организационна структура са сложни, инфраструктурни, нерядко международни и глобални проекти. Управлението на тези проекти включва

Препоръчана за публикуване от Катедра "Сондиране и добив на нефт и газ", ГПФ планирането, проследяването и контролът на всички аспекти, за да се постигнат целите на проекта в рамките на определеното време, бюджет, качество и изпълнение, за които се търсят гъвкави иновационни технологии за управление.

Това налага и практически вече повечето университети включват в своите учебни програми дисциплини, свързани с управление на проектите, подготвят се и се защитават множество дисертации с разработки за конкретни приложения, в т.ч. и свързани с управлението на проекти в газоснабдяването.

Литература

- БДС EN ISO 9000, Системи за управление на качеството, Основни принципи и речник (ISO 9000:2000).
- Забродин, Ю. Н., В. Л. Коликов, А. М. Саруханов. 2004. Управление нефтегазостроительными проектами. Современные концепции, эффективные методы и международный опыт. М., Экономика, 406 с.
- Интернет страници на фирми, производителки на програмни продукти за управление на проекти: http:// www.microsoft.com/ project; http:// www.tssolution.com; http:// www.wst.com; http:// www.primavera.msk.ru;
- Мазур, И. И., В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогте. 2004. Управление проектами. М., Омега –Л, 664 с.
- Международна организация за управление на проектите (IPMA International Project Management Association): http://www.ipma.co.uk.
- Национална стратегия за интегрирано развитие на инфраструктурата на Република България и оперативен план за изпълнение за периода 2006 2015 г.
- Avraham S., Jonathan F., S. Globerson. *Project management:* engineering, technology and implementation.
- Develope Consult, Project Management Get ready for successful. http://www.projectmanagement.ru

СТАНДАРТИЗАЦИЯТА И ЛИБЕРАЛИЗАЦИЯТА В ГАЗОСНАБДЯВАНЕТО

Георги Николов¹, СтайкоТодоров¹

¹Овергаз Инк. АД, София 1407 ¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700

РЕЗЮМЕ. Разгледани са новостите във въведените в страната стандарти за разпределение и използване на природен газ. Анализирани са хармонизираните Европейски и ISO стандарти в областта на газоснабдяването. Проследена е взаимната връзка между либерализацията на газоснабдяването и произтичащата от това необходимост, освобождаването на пазара да бъде съпроводено изпреварващо със съответни действия, гарантиращи сигурността, безопасността на газоснабдяването и опазването на околната среда. Предложени са механизми, допринасящи за развиване в пазарни условия на надеждна и ефективна система на газоснабдяване.

предполени са меланизми, допринасящи за развиване в пазарни условия на наделдна и ефективна система на газосн

STANDARTIZATION AND LIBERALIZATION OF GAS SUPPLY

Georgy Nikolov¹, Stoiko Todorov¹ ¹OVERGAS Ink. AD, Sofia 1407 ¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700

ABSTRACT. The report deals with the novelties in the natural gas distribution and standards, introduced in the country. Analysis is made of the harmonized European and ISO standards in the gas supply sphere. A study is made of the interrelation of gas supply liberalization and the ensuing necessity for the liberalization of the market to be preemptively accompanied by adequate measures guaranteeing gas supply security and safety as well as environmental preservation. Mechanisms are offered to promote a reliable and effective gas supply system in market conditions.

Въведение

Българския институт за стандартизация (БИС) промени статута си от орган на Държавната администрация в обществено-правна организация. Това стана с влизането в сила от 5 май 2006год. на Новия закон за националната стандартизация. С тази промяна, всички страни имащи интерес от дейността по стандартизация могат да участват в управлението и техническата работа на организацията. Работата на БИС е организирана аналогично на тази на CEN и ISO, чрез технически комитети и работни групи. Стандартизацията, като дейност, носи изгода за цялото общество, защото тя води до подобряване на качеството предлаганите продукти и услуги, на повишава безопасността, помага за опазването на околната среда, увеличава конкуренцията на пазара, развива икономиката, дава възможност за практическо приложение на новите ефективни технологии, установява обща терминология за съответните продукти и услуги.

Участниците в работните комитети на БИС са високо квалифицирани специалисти в съответната област. Те представят широка част от обществеността-частни и държавни фирми и организации, учреждения, регулаторни органи, производители на материали и оборудване, университети, научно-изследователски центрове и др. При създаването и въвеждането на новите стандарти тези специалисти ползват инженерни анализи, научни и експериментални данни и резултати, както и своя богат практически опит.

На 26 юни 2003 година беше приета Директива на Европейския Парламент и на Съвета 2003/55. Директивата установява общи правила за преноса, разпределението, доставката и съхранението на природен газ. Тя представя правилата за организацията и функционирането на сектор природен газ, достъпа до пазара, критериите и процедурите, които са приложими за даването на разрешения за пренос, разпределение, доставка и съхранение на природен газ и експлоатацията на системите. Въведените стандарти в областта на газоснабдяването са добра основа за либерализиране на газовия пазар, съгласно действащите изисквания на Директивата. Те представят единния Европейски критерий за производство, безопасност, качество и съответствие на продуктите и услугите.

Основни стандарти за разпределение и използване на природен газ

В последните няколко години бяха въведени редица нови стандарти в областта на газоснабдяването от Техническите комитети (ТК60) "Газоснабдяване и газопотребление", (ТК 8) "Газови уреди, газови бутилки и арматура за газови уреди. Битови уреди на твърдо и течно гориво", (ТК 30) "Заваряване на материалите" и др.

В областта на газоснабдяването основна е ролята на ТК 60. Дейността на комитета включва въвеждане на стандарти в областта на: добива, преноса, разпределението и използването на природния газ.

Въведените нови стандарти сферата в на газоснабдяването са гъвкаво и необходимо средство за газоснабдителните **vспешно** функциониране на предприятия, дейността на фирмите и лицата за проектиране и строителство, органите и лицата за одобрение, контрол и приемане на газоснабдителни мрежи. С тези стандарти интересите на потребителите, доставчиците на услуги и на обществото като цяло са защитени в максимална степен.

В съответствие с предстоящото присъединяване на РБългария към Европейския съюз, е необходимо услугата по газоснабдяване да бъде предлагана на потребителите с качество съответстващо на изискванията и достиженията на европейския и международен пазар. Едно от найефективните средства в изпълнение на това изискване е въвеждането и спазването на изискванията на новите хармонизирани Европейски и ISO стандарти в областта на газоснабдяването. Тези стандарти трябва да бъдат възприети широко и осъзнати, като обществено необходими.

Част от по-важните хармонизирани Европейски стандарти в областта на газоснабдяването са:

 БДС EN 1594 Системи за доставяне на газ.Тръбопроводи за максимално работно налягане над 16 bar. Функционални изисквания.

Този стандарт описва общите функционални изисквания за доставяне на газ по стоманени тръбопроводни системи и покрива диапазон за максимално работно налягане (МОР) по-високо от 16 bar. Той се прилага за тяхното проектиране, строителство, експлоатация и свързаните с това аспекти за безопасност, околна среда и обществено здраве, за да осигурява безопасно и сигурно доставяне на газ.

Стандартът е приложим за нови тръбопроводи с максимално работно налягане (МОР) над 16 bar за пренасяне на природен газ в съответствие с ISO 13686 при системи за доставяне на газ на сушата, където:

- елементите на тръбопроводите са направени от нелегирана или ниско-легирана въглеродна стомана;
- елементите на тръбопроводите са свързани чрез заварки, фланци или механични съединители;
- тръбопроводът не се намира в рамките на търговски или промишлени помещения, като неразделна част от промишлен процес в тези помещения, с изключение на тръбопроводи и съоръжения, захранващи тези помещения;
- проектната температура на системата е между– 40 °С и +120 °С включително.

 БДС EN 12732 Системи за доставяне на газ.Стоманени заварени газопроводи. Функционални изисквания.

Този стандарт съдържа изисквания за изготвянето и изпитването на заварени съединения за инсталации и модификации на сухоземни стоманени тръбопроводи и тръбопроводни мрежи използвани в системи за доставяне на газ, включително обслужващи тръбопроводи, за всички диапазони налягане, за пренос на природен газ, в съответствие с ISO 13686.

 БДС EN 10208-1:2000 Стоманени тръби за тръбопроводи за пренос на горими флуиди. Технически условия на доставка. Част 1: Тръби от клас на качество А.

Този европейски дава техническите условия на доставка на заварени и безшевни тръби от нелегирана стомана. Той включва по-широки изисквания за качество и изпитване в сравнение с тези в EN 10208-2 и се прилага за тръби, които обикновено се използват за транспортиране на горими флуиди.

 БДС EN 10208-2: 2000 Стоманени тръби за тръбопроводи за пренос на горими флуиди. Технически условия на доставка. Част 2: Тръби от клас на качество В

Този стандарт дава техническите условия на доставка на безшевни и заварени тръби от нелегирана и легирана (без неръждаема) стомана. Той включва по-високи изисквания за качество и изпитване в сравнение с тези в EN 10208 част 1. Тези допълнителни изисквания са например за пластичност и безразрушителен контрол, обичайни за преносни тръбопроводи.

БДС EN 10208-2 се прилага за тръби, които се използват за транспортиране на горими флуиди.

 БДС EN 287-1:2000 Изпит за одобряване на заварчици. Заваряване чрез стопяване. Част 1: Стомани.

Този стандарт определя основните изисквания, обхватите на одобряване, условията за провеждане на изпитите, изискванията за одобряване и сертифициране на заварчици за заваряване на стомани чрез стопяване.

 БДС EN 288-1:2000 Специфициране и признаване на заваръчни процедури за метални материали – Част 1: Общи правила за заваряване чрез стопяване

Този стандарт определя общите правила за специфицирането и одобрението на заваръчни процедури за метални материали. Разгледаните спецификации на заваръчните процедури се използват в производството от компетентни заварчици, сертифицирани съгласно съответната част на EN 287.

 БДС EN 288-2:2000 Специфициране и одобрение на заваръчни процедури за метални материали – Част 2: Спецификация на заваръчна процедура за електродъгово заваряване.

Този стандарт определя изискванията за съдържанието на спецификации на заваръчни процедури (заваръчни инструкции) за процеси на електродъгово заваряване. Спецификацията на заваръчната процедура (WPS) описва подробно как трябва да се изпълни дадена заваръчна операция и включва цялата подходяща информация за работата по заваряването.

 БДС EN 288-3:2000 Специфициране и одобрение на заваръчни процедури за метални материали – Част 3: Изпитване на заваръчни процедури за електродъгово заваряване на стомани.

Този стандарт определя начините, по които една спецификация на заваръчна процедура се одобрява чрез изпитвания на заваръчната процедура.

Стандарта определя условията за провеждане на изпитванията на заваръчната процедура и границите на валидност на приета заваръчна процедура за всички практически заваръчни дейности в обхвата на параметрите.

Този стандарт важи за електродъгово заваряване на стомани, обхващащо следните процеси на заваряване съгласно EN 24063:

- 111 Ръчно електродъгово заваряване с обмазани електроди;

- 114 Електродъгово заваряване с тръбен електроден тел без защитен газ;

- 121 Подфлюсово заваряване с електроден тел;

- 122 Подфлюсово заваряване с лентов електрод;

- 131 Електродъгово заваряване с топящ се метален електроден тел в инертен газ (МИГ-заваряване);
- 135 Електродъгово заваряване с топящ се метален електроден тел в активен газ (МАГ-заваряване);

- 136 Електродъгово заваряване с тръбен електроден тел в активен газ;

- 141 Електродъгово заваряване с волфрамов електрод в инертен газ (ВИГ-заваряване);

- 15 Плазмено заваряване;

- Други заваръчни процеси по съгласуване.

 БДС EN 12007-1:2000 Системи за доставяне на газ. Тръбопроводи за максимално работно налягане до 16 bar включително. Част 1: Основни функционални препоръки.

Този стандарт описва общите функционални препоръки за тръбопроводи до точката на доставка и също така за подземните секции на тръбопровода след точката на доставка за максимално работна налягане до и включително 16 bar за газообразни горива в съответствие с таблица 1 на EN 437:1993. Стандарта се отнася за тяхното проектиране, строителство, пускане в експлоатация, спиране от експлоатация, работа, техническо обслужване, обновяване, разширяване и други свързани работи.

 БДС EN 12007-2:2000 Системи за доставяне на газ. Тръбопроводи за максимално работно налягане до 16 bar включително. Част 2: Специфични функционални препоръки за полиетилен (МОР до 10 bar включително).

Този стандарт описва специфичните функционални препоръки за полиетиленови (РЕ) тръбопроводи в допълнение към общите функционални препоръки на БДС EN 12007-1:2000 за:

a) максимално работно налягане (МОР) до и включително 10 bar;

б) работна температура между -20°С и +40°С.

 БДС EN 12007-3:2000 Системи за доставяне на газ. Тръбопроводи за максимално работно налягане до 16 bar включително. Част 3: Специфични функционални препоръки за стомана (МОР до 10 bar включително).

Този стандарт описва специфичните функционални препоръки за стоманени тръбопроводи (МОР до 10 bar включително) в допълнение към общите функционални препоръки на БДС EN 12007-1: 2000.

Той включва изисквания за проектиране строителство, инспектиране на покритието, изпитване под налягане. Дадени са информативни приложения за: съхраняване, манипулиране и транспортиране; провисване на тръби и изчисляване на дебелината на стената.

 БДС EN 12007-4:2000 Системи за доставяне на газ. Тръбопроводи за максимално работно налягане до 16 bar включително. Част 4: Специфични функционални препоръки за реновация (саниране).

Този стандарт описва специфичните функционални препоръки за обновяване на съществуващи системи тръби в системи за доставка на газ и включва някои изисквания за материали, различни от пластмасовите, покрити от CEN/TC 155 "Пластмасови тръби и канални системи". Стандартът е предназначен за прилагане във връзка с БДС EN 12007-1: 2000. Настоящият стандарт включва въпроси относно: проектиране (общи положения, повишаване на налягането, избор на технология на обновяване, консултации с трети страни), строителство (общи положения, демонтаж /повторно свързване на секции на системата за доставка на газ, изкопни работи/безтраншейни технологии), полагане, изпитване под налягане, прехвърляне на обслужваща линия, пускане и спиране от експлоатация, система на документиране. Приложени са: схема на технологиите за обновяване, предимства и недостатъци на технологиите за обновяване, обновяване с непрекъсната или прекъсната тръба, облицоване с тръба неподвижна сглобка, облицоване с втвърдила се на място тръба, обновяване с взривяване или разцепване на съществуваща тръба, обновяване чрез издърпване или изтласкване на съществуваща тръба, ремонт на съединения и облицоване със смола.

 БДС EN 12327:2000 Системи за доставяне на газ.
Изпитване под налягане и процедури за въвеждане в експлоатация. Функционални изисквания. Този стандарт описва общите принципи за изпитване под налягане и въвеждане в експлоатация на системи за доставяне на газ, така както са обхванати от Европейските функционални стандарти на Технически комитет CEN/TC 234, освен тръбопроводи за сгради според EN 1775. Специфицираните процедури са приложими за изпитване на якост, изпитване на плътност и комбинирано изпитване.

Стандарта разглежда: Изпитване под налягане (общи положения, класификация на методите за изпитване, хидростатично изпитване, пневматично изпитване, регистриране на утечки, протокол от изпитване), Въвеждане в експлоатация (общи положения/планиране, пускане в експлоатация, спиране от експлоатация). Приложени са информативно: Критерии за продухване и Списък на стандарти на TC 234.

• БДС EN 12186:2000 Системи за доставяне на газ. Газорегулаторни станции за подаване и разпределение. Функционални изисквания.

Този стандарт съдържа съответните функционални изисквания за газорегулаторните станции, които формират част от газотранспортната или разпределителна система. Той е приложим за проектирането, материалите, изграждането, изпитването, експлоатацията и техническото обслужване на газорегулаторните станции.

Станциите, за които този стандарт е в сила имат максимално входно работно налягане не надвишаващо 100 bar. За по-високо максимално входно работно налягане този стандарт може да се използва, като ръководство.

 БДС EN 12279:2000 Газоснабдителни системи -Инсталации за регулиране на газа на обслужващи линии - Функционални изисквания.

Този Европейски стандарт съдържа най-важните функционални изисквания на инсталациите за регулиране на налягането, съставящи част от обслужващите линии в газоснабдителните системи. Той е приложим за проектиране, материали, изграждане, изпитване, експлоатация и техническо обслужване на инсталации за регулиране на налягането, които съставят част от обслужващите линии за снабдяването на жилищни, високи сгради с обществен достъп. търговски и сгради за смесено ползване и за които горната граница на максималното работно налягане е равна на или по-малка от 16 бара, а проектния дебит е равен на или по-малък от 200 Nm³/h.

В стандарта се съдържат основните системни изисквания за инсталации за регулиране на налягането.

За инсталации за регулиране на налягането, съставящи част от обслужващи линии с проектен дебит по-голям от 200 Nm³/h, или за работно налягане с максимална горна граница по-голяма от 16 бара, се прилага БДС EN 12186: 2000.

 БДС EN 1555-1:2005 Пластмасови тръбопроводни системи за газоснабдяване. Полиетелен (PE). Част 1: Общи положения.

Стандартът определя общите аспекти на полиетиленови (PE) тръбопроводни системи в областта на газоснабдяването. Той определя също параметрите на методите на изпитване, посочени в настоящия стандарт.

Съвместно с другите части на БДС EN 1555 стандартът се прилага за тръби от полиетилено (PE), свързващи части и вентили и техните съединения и съединенията им с елементи от друг материал, предвидени за използване при следните условия:

- макс. работно налягане, МОР, до 10 bar включително;

- работна температура от 20 °C, като нормална температура.
- БДС EN 1555-2:2005 Пластмасови тръбопроводни системи за газоснабдяване. Полиетелен (PE). Част 2: Тръби.

Стандартът определя изискванията към тръби от полиетилен (PE) за тръбопроводни системи в областта на газоснабдяването. Той определя също параметрите на методите на изпитване, посочени в настоящия стандарт. Тръбите са предвидени за използване, съгласно условията на БДС EN 1555-1: 2005

 БДС EN 1555-3:2005 Пластмасови тръбопроводни системи за газоснабдяване. Полиетелен (PE). Част 3: Свързващи части.

Стандартът определя характеристиките на свързващи части за заваряване, изработени от полиетилен (PE), както и на свързващи части за механично свързване от полиетилен (PE) или други материали за тръбопроводни системи за газоснабдяване. Той определя също параметрите на методите на изпитване, които са посочени в този стандарт. Свързващите части са предвидени за използване съгласно условията на БДС EN 1555-1: 2005

Този стандарт се прилага за следните видове свързващи части:

- свързващи части с муфи за електрозаваряване;
- свързващи части със седла за електрозаваряване;
- свързващи части с гладки краища (за челно заваряване с нагрят елемент и муфи за електрозаваряване);
- свързващи части за механично свързване.
 - БДС EN 1555-4:2005 Пластмасови тръбопроводни системи за газоснабдяване. Полиетелен (PE). Част 4: Вентили.

Стандартът определя изискванията за вентили от полиетилен (PE) за тръбопроводни системи за газоснабдяване, както и параметрите на методите на изпитване. Вентилите са предвидени за използване съгласно условията на БДС EN 1555-1: 2005. Този стандарт се прилага и за вентили без определена посока на потока, чиито гладък край или муфа за електрозаваряване са предназначени за заваряване с тръби от PE, съответстващи на БДС EN 1555-2 без свързващи части или със свързващи части от PE, съответсващи на БДС EN 1555-3.

Тази част на БДС EN 1555 се прилага за вентили с номинален диаметър DN ≤ 225 мм.

 БДС EN 1555-4:2005 Пластмасови тръбопроводни системи за газоснабдяване. Полиетелен (PE). Част 5: Пригодност за използване по предназначение на системата.

Тази част на БДС EN 1555 определя изискванията за пригодност за използване по предназначение на полиетиленови (PE) тръбопроводни системи в областта на газоснабдяването. Тя определя дефинициите за електрозаваряване, челно заваряване и механично свързване.

Този стандарт определя метода за подготовка на пробни тела, при съблюдаване на препоръките за монтаж дадени в БДС EN 12007-2:2000 и изпитванията, които трябва да се извършат с тези комплекти за оценяване пригодността им за използване по предназначение в системата при нормални и екстремни условия.

Представените по-горе нови стандарти отразяват достигнатото ниво на науката, технологиите и производствения опит в газоснабдяването. Създадените стандартите са с добра техническа основа, независими, индустриално приложими и основани на консенсус между всички участници. Прилагането на тези стандарти е предпоставка за високо качество и ефективност на дейностите по газоснабдяване.

Основната цел е подобряване и гарантиране на интегритета(целостта) на тръбопроводните системи в интерес на обществената безопасност.

Либерализация, безопасност и опазване на околната среда

Либерализацията на газовия пазар означава предлагане на конкурентно способна услуга по пренос, разпределение, доставката и съхранението на природен газ на пазара. Ще се появят множество нови "играчи" на либерализирания газов пазар, които ще желаят да предлагат част от услугите. Това важи с особено голяма сила за дейностите разпределение и доставка на природен газ в т.ч. и LNG. Това ще доведе до включване в действие на всички механизми, водещи до повишаване на качеството на услугата и намаляване на нейната цена. Разбира се, споменатите компании ще могат да навлязат на пазара с предлагане на услугите на по-ниски цени. Но какво гарантира, че нивото на качество и безопасност ще бъде в съответствие с нуждите на обществото?

Необходимо е да се постигне точен баланс между високо качество на услугите в сектор природен газ и

съответстващите им разумни и конкурентни ценови нива. Тук е огромната роля на стандартизацията, която установява техническите критерии за безопасно, сигурно и надеждно функциониране на системите.

От казаното следва, че има необходимост, освобождаването на пазара да бъде съпроводено изпреварващо със съответни действия, гарантиращи сигурността, безопасността на газоснабдяването и опазването на околната среда.

В момента има хармонизирани Европейски и ISO стандарти в областта на газоснабдяването, които са достатъчни за гарантирането на необходимата безопасност на услугите по пренос, разпределение, доставка и съхранение на природен газ и експлоатацията на системите. Въпреки препоръчителния характер на стандартите от изключително значение е изискванията на тези стандарти да бъдат спазвани от всички участници в процеса. Тези изисквания са минимално необходимите и затова прилагането на по-стриктни изисквания за безопасност на системите трябва да се насърчава.

Една от задачите на системните оператори, посочени в член 8 от Директивата постановява, че "Държавите-членки могат да изискват от операторите на преносни системи да се съобразяват с минимални стандарти за поддръжката и развитието на преносната система, включително капацитети за създаване на взаимни връзки." Същото изискване за спазването на минимални стандарти трябва да важи и за операторите на разпределителни системи.

Необходимо е да се създаде подходяща система за проверка, от съответните регулаторни власти и компетентни лица, на действителните възможности на компаниите действащи в момента, както и на тези желаещи да предлагат услуги в секторите пренос и разпределение на природен газ в т.ч. и LNG. Правилата трябва да са ориентирани към гарантиране на безопасността и да са обективни, прозрачни и недискриминационни.

Предприятията за природен газ са задължени да осигуряват безопасна, безаварийна и ефективна експлоатация на газоснабдителните системи. Това предполага те да притежават необходимите за целта ресурси: организационни, функционални и административни. Тези ресурси е подходящо да се обединят в единна документирана система ИУСинтегрирана управленска система за гарантиране сигурността и ефективността на газоснабдителните системи.

Споменатата интегрирана управленска система е специфична за всяка компания в зависимост от предлаганата услуга. Основните принципи на системата трябва да бъдат:

- приложение на високотехнологични стандарти в предварителното проучване, проектирането, строителството, поддръжката и експлоатацията на газоснабдителните системи;
- провеждане на предварителни действия, които да гарантират поддържането на пригодността на

системите в съответствие с тяхното предназначение;

- определяне ролите и отговорностите на персонала;
- обучение на персонала;
- разработване на правила за действие в аварийна обстановка;
- разследване на аварии.

С помощта на системата компаниите ще демонстрират:

- пред компетентните власти, че са приложени необходимите и достатъчни управленски и организационни мероприятия, за да се предотвратят и контролират възможни инциденти в т.ч. и ограничаване на въздействие им върху хората и околната среда;
- техническата безопасност, надеждност и интегритет на цялата газоснабдителна система, постигнати чрез проектиране, строителство, поддръжка, експлоатация и инспекции по найвисоките приети технически изисквания и стандарти.

Компаниите работещи на либерализирания газов пазар трябва непрекъснато да поддържат и развиват високо ниво на технически знания на своя персонал, да следят съответствието на процесите в компанията с изискванията на действащите наредби, хармонизираните Европейски и ISO стандарти, международно признатите кодове и практики в областта, както и развитието на новите технологии за проектиране, строителство, поддръжка и експлоатация на газоснабдителни системи. Предприятията за природен газ трябва да разработят механизми за

Препоръчана за публикуване от Катедра "Сондиране и добив на нефт и газ", ГПФ предприемане на незабавни коригиращи действия за поддържане на интегрираната управленска система (ИУС) в съответствие със съвременните изисквания.

Изводи

Директивата на Европейския Парламент и на Съвета 2003/55 установява ясни правила за създаване на реална конкуренция и ефективно функциониране на газовия пазар. Регулаторните власти трябва да направят възможно практическото прилагане на Директивата, като се гарантира в най-голяма степен безопасността.

Въвеждането на еднакви критерии за безопасността към всички Предприятия за природен газ, ще доведе до високо ниво на прозрачност и конкуренция на либерализирания пазар. Това означава еднакви изисквания към всички, добра база за сравнимост на предлаганите конкурентни цени, невъзможност от поява на случайни "играчи" и като резултат либерализиран газов пазар с газоснабдителна система функционираща безопасно, сигурно и надеждно.

Литература

- Директива на Европейския Парламент и на Съвета 2003/55 - от 26 юни 2003 година.
- European technical specification CEN/TC 234 "Gas supply system-frame of reference regarding Pipeline Integrity Management System (PIMS)".

МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ВЪЗМОЖНОТО ЗАМЪРСЯВАНЕ НА ПОДПОВЪРХНОСТНОТО ПРОСТРАНСТВО ПРИ ВРЕМЕННО ДЕПОНИРАНЕ НА БИТОВИ ОТПАДЪЦИ В РУДНИК "ЧУКУРОВО"

Николай Стоянов

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

РЕЗЮМЕ. Разработен е двумерен математически модел на условията за движение на замърсители в подповърхностното пространство в района на вътрешното насипище на рудник "Чукурово". Посредством модела е оценена естествената защита, която дава геоложката основа на предложената площадка за временно депониране на битови отпадъци. Прогнозата за размерите и степента на възможното замърсяване е направена при условие, че на площадката не са изградени стандартните за подобни обекти противофилтрационен защитен екран, дренажна система за улавяне на постъпилите в дълбочина "сметищни" води и система от канали за отвеждане на повърхностните води. Работната хипотеза предполага още, че положените върху земната повърхност "бали" с битови отпадъци са с нарушена изолация и изтичащите от тях течни емисии непрекъснато ще се инфилтрират в неводонаситената част на насипището (в зоната на аерация).

A MATHEMATICAL MODEL OF THE POSSIBLE POLLUTION IN THE SUBSURFACE AREA CAUSED BY TEMPORARY DEPOSITION OF WASTE MATERIALS IN MINE "CHUKUROVO"

Nikolay Stoyanov

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

ABSTRACT. A 2-D mathematical model is developed revealing the conditions determining the movement of pollutants in the subsurface area of mine "Chukurovo". The model is used for evaluating the natural protection provided by the geological basis of the site proposed for temporary deposition of waste materials. The spread and the level of the possible pollution are prognosticated on the assumption that the site is not equipped with the standard for such type of regulated facilities amenities that comprise insulating protective shield, drain system for catching infiltrated leachate and system of open channels for collecting surface water. The work hypothesis suggests also that there is a breach in the cover of the waste bales stored on the surface and that volumes of leachate infiltrate continuously into the unsaturated zone.

Въведение

Социалната практика в последните години убедително показва, че проблемът с битовите отпадъци на гр.София е изключително тежък и за съжаление липсват ясни индикации, че може в близко бъдеще да намери някакво задоволително решение. Една от причините за създалата се ситуация, е провокираната психоза от неаргументирани изказвния на екозащитници и неспециалисти. Тяхната теза обикновено се свежда до аксиомата: "независимо от характеристиките и естествената защитеност на геоложка основа на дадена площадка, изграждането на депо за отпадъци би довело до трайно замърсяване на околната среда, в това число на повърхностните и подземните води в района на обекта".

В действителност, много от немотивирано отхвърлените с лека ръка площадки в хидрогеогеоложки аспект притежават необходимите качества да бъдат използвани като депа за отпадъци. И това убедително се доказва с помощта на математически модели на условията за движение на замърсители в подповърхностното пространство за всеки конкретен обект. В подкрепа на изказаното твърдение статията представя двумерен

математически модел за прогнозиране на възможното замърсяване на подповърхностното пространство при временно депониране на битови отпадъци в района на вътрешното насипище на рудник "Чукурово". Използватана работна хипотеза предполага, че на площадката не са стандартните подобни изградени за обекти противофилтрационен защитен екран, дренажна система за улавяне на постъпилите в дълбочина "сметишни" води и система от канали за отвеждане на повърхностните води. В модела е прието още, че положените върху земната повърхност "бали" с битови отпадъци са с нарушена изолация и изтичащите от тях течни емисии непрекъснато ще се инфилтрират в неводонаситената част на насипището.

Обща характеристика на изследвания обект

Изследваният обект се намира на около 30 km на югозапад от гр. София (фиг. 1). В общ план той попада в Преходната планинско-котловинна област, на границата между Лозенска планина и Ихтиманска Средна гора. Релефът е нископланински с денудационни заравнености с височина от 400 до 1200 m. Средната температура на въздуха през годината е 8°С, а средната сума на падналите валежи – около 630 mm.



Фиг. 1. Местоположение на изследвания обект

Обектът попада във водосбора на р. Габра, която извира на 3.5 km от яз. Искър. Тя преминава през едноименното село, след което тече на североизток и се влива в р. Лесновска. Вододелната линия между водосборните области на р. Габра и язовира е съвсем ясно изразена и напълно изключва движение на повърхностни води от обекта към яз. Искър.

По-конкретно, отредената за временно депо площадка заема ограничена територия от вътрешното насипище на рудник "Чукурово". Характерните за този район хидроложки условия са предимно функция на интензивната антропогенна дейност. Стичащите води се по скатовете на ограждащите рудника възвишения, падналите на неговата територия валежи и рудничните води се събират специално посредством изградена система OT хидротехнически съоръжения. Тези води се отвеждат в ретензионен басейн (водосборно езеро), формиран на дъното на котлована (фиг. 2). Езерото е със значителен обем и е напълно изолирано от р. Габра и яз. Искър.



Фиг. 2. Общ изглед на площадката за временно депониране на отпадъци в района на вътрешното насипище на рудник "Чукурово"

В геоложкия строеж в района на вътрешното насипище участва твърде широк спектър от литоложки разновидности – глини, песъчливи глини, праховопесъчливи глини, глинести пясъчници, пясъчници, въглищни прослойки и др. Те се характеризират с изключително ниска проницаемост и изградените от тях хидрогеоложки единици обикновено се класифицират като практически "водоупори", неводоносни структури или слабо водоносни тела, чиито водни ресурси са незначителни и нямат стопанско значение.

Резултатите от детайлните проучвания дават основание в седментите, изграждащи геоложката основа на площадката, да се отделят три ниско рангови хидрогеоложки единици. В рамките на насипището се разграничават един проницаем пласт в горната част на разреза (до дълбочина 10-15 m) и един слабо проницаем пласт в по-уплътнените в дълбочина материали. Коефициентът на филтрация в тези два пласта е нисък - от 10⁻¹ до 10⁻² m/d. Седиментите от подложката, представени от алтерниращи пясъчници, глинести пясъчници, глини и въглищни прослойки, са с 1-2 порядъка по-ниски филтрационни характеристики. В хидрогеоложки аспект формираната от тях слабо проницаема зона представлява водонаситена слабопроводяща среда, която може да се разглежда и като практически "водоупор".

Естеството детерминираните в района на на разглеждания обект хидрогеоложки единици предпоставя съвсем ограниченото присъствие на подземни води. Тези води се формират главно в тялото на насипището (в проницаемия и слабопроницаемия пласт). Имат сезонен характер и твърде динамичен режим. През дъждовни периоди и при топенето на снеговете част от оттичащите се в чашата на открития рудник повърхностни води се инфилтрират в насипаните материали и формират безнапорен подземен поток, насочен по посока на основния отводнител – водосборното езеро. Поради ниския коефициент на филтрация на средата в зоната на аерация преминава само една много малка част от повърхностните води (около 3-6%). Другата част се оттича под формата на повърхностни потоци. следвайки наклона на терена. Освен от инфилтрация на валежи и скатови води, подземните води се подхранват и от необлицован събирателен канал, който маркира контура на високата южна граница на открития рудник и събира повърхностния отток, идващ от юг. Малко вероятно е подземните води да се подхранват от преминаващо на около 300-400 m на юг от този канал коригирано русло на р. Габра, тъй като реката тече върху седименти с много ниска проницаемост (кватернерни делувиални глини и неогенски седименти).

При тези условия в годишен разрез присъствието и поведението на подземните води в насипището е изключително динамично. То е свързано основно с продължителността и интензивността на падналите валежи и топенето на снеговете. При по-продължителни дъждове и в периода на снеготопене в насипа се формира водонаситена зона, като нивото на акумулираните в нея подземни води се колебае в широки граници. По време на последното проучване (през месеците декември-януари 2005-2006 г.) то е регистрирано на 5-10 m от повърхността. Единствено при езерото то е на дълбочина 1-2 m. Стуктурата на формирания в тялото на насипището временен подземен поток се контролира от водосборното езеро. Генералната посока на безнапорния поток е насочена на североизток. Средният хидравличен градиент е сравнително висок – варира в диапазона 0.01-0.05. Предвид ниските филтрационни свойства на насипаните материали, скоростите на филтрация (по Darcy) са ниски около 3x10-3 m/d. Все пак, не бива да се пропуска и

съществуването в горната слабоуплътнена част на насипището (в проницаемия пласт) на ограничени по размери зони с по-висока проницаемост. Тук на дълбочина до 10 m в резултат на ерозионни и суфозионни процеси в отделни части от подповърхностното пространство средата са с по-висока от средната за пласта активна порестост. По тези по-проницаеми зони се дренира и част от вече формирания в насипа подземен поток, който на пониски коти излиза под формата на разсеяни или съсредоточени извори. Тези естествени изходища като явление са изключително краткотрайни и имат незначителни дебити. Впрочем, дори в условията на пълноводие общият разход на подземния поток е не поголям от 1-3 l/s. В засушливи периоди, при отсъствие на подхранване, акумулираните в тялото на насипището подземни води постепенно се дренират на северсевероизток и то остава сухо.

Неогенските седименти (слабо проницаемата зона), върху които е изградено насипището, представлява един много добре издържан в регионален план "водоупор". Те са водонаситени и естествено притежават някаква макар и много ниска проницаемост, която обаче е пречка за протичане на флуиди, респ. на подземни води или на постъпващи от повърхността разтвори (напр. "сметищни" води). Единствено на големи дълбочини в неогенските седименти са установени много слабо водоносни зони, привързани главно към въглищните пластове и прослойки или към отделни пластове от слабоспоени пясъчници. Акумулираните в тези зони подземни води са в съвсем незначителни количества и са практически напълно изолирани едни от други.

Математически моделни изследвания

Главна цел на математическите моделни изследвания е да се прогнозира възможното замърсяване на геоложката основа на площадка "Чукурово – вътрешно насипище" при драстично неспазване на нормативно утвърдената технология за временно депониране на битови отпадъци.

Математическият модел разглежда екстремната хипотеза, според която върху геоложката основа на площадката не е изграден противофилтрационен екран, няма дренажна система за улавяне на "сметищните" води, както и канали за отвеждане на повърхностните води. Предполага се още, че "балираните" отпадъци са с нарушена изолация и изтичащите от тях течни емисии безпрепятствено се инфилтрират в неводонаситената част на насипището (в т. нар. зона на аерация).

Посредством съставения модел се симулират условията за разпространение на силно подвижните замърсители по примера на хлоридните йони. Направената прогноза за развитието и възможния обхват на процесите на замърсяване в подповърхностното пространство в района на обекта обхваща период от 100 години. На основата на моделните решения са оценени и самопречистващите способности на геоложката основа на площадката.

Методика и инструменти за математическо моделиране на миграционните процеси в зоната на аерация

За моделиране на условията за движение на замърсители в зоната на аерация е използвана разработената от Геоложката служба на САЩ (USGS) компютърна програма VS2DTI. Програмата използва числови процедури по крайни разлики за изчисляване на функцията на потока потока по класическото уравнение на Richards, като връзката между всмукващия потенциал Ψ, съдържанието на влага в почвата о и коефициента на влагопроводност \overline{k} се моделира посредством функциите предложени от van Genuchten (1980), Brooks and Corey (1964), Haverkamp et al (1977) или чрез таблични стойности. Началните хидравлични условия ce специфицират със статичен равновесен профил. със зададен всмукващ потенциал или със зададена влагонаситеност. Граничните условия се симулират чрез задаване по границите на моделната област на стойности (или на функция) на всмукващия потенциал или на общия напор, на разхода, на инфилтрационното подхраване и посредством гранични елементи с възможно протичане. Преносът на вещество се описва чрез числово решаване в крайни разлики на конвективно-дисперсионното уравнение, записано във вида (Bear, 1979):

$$\frac{\partial(\theta \mathbf{c})}{\partial t} = \nabla \cdot \theta \mathbf{\overline{D}}_{h} \cdot \nabla \mathbf{c} - \nabla \cdot \theta \mathbf{\overline{vc}} + \mathbf{SS}$$
(1)

където: θ е обемната влагонаситеност, [-]; *с* е концентрацията на съответния замърсител, [ML-³]; t е времето, [T]; ∇ е диференциалният оператор $\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}$, [L-¹]; \overline{D}_h е тензорът на хидродинамичната

дисперсия, [L²T⁻¹]; v е векторът на скоростта на движение на течността, [LT⁻¹]; SS отчита най-общо постъпването или напускането на вещество в или от течната фаза, [ML⁻³T⁻¹].

Подробна информация относно използвания в алгоритъма на компютърната програма VS2DTI математически апарат и методически указания за нейното прилагане са дадени в голям брой литературни източници (Lappala et al., 1987; Healy, 1990; Стоянов, 2005 и др.).

Концептуален модел

Математическият модел за прогнозиране на поведението на замърсителите в зоната на аерация е разработен при следните предпоставки.

Обект на разглеждане е геоложката основа на площадка "Чукурово – вътрешно насипище" по профил II-II (фиг. 2). Профилът е ориентиран по направление юг-североизток. В неговия разрез са отделени три ниско рангови хидрогеоложки единици: проницаем пласт, слабо проницаем пласт и слабо проницаема зона. Тяхната геометрия и филтрационните им характеристики са определени по данни от сондажното проучване и от опитно-филтрационните тестове (Стойнев и др., 2006). Трите хидрогеоложки единици се приемат като еднородни по отношение на филтрационните параметри, тъй като стойностите им в границите на всяка единица варират в много тесни диапазони. Независимо от получените от автора в лабораторни условия високи стойности за сорбционните свойства на изследваните проби, в модела (с много голям инженерен запас) се приема, че средата въобще не задържа силно подвижните замърсители и те свободно мигрират в подповърхностното пространство. Същевременно, за дисперсивността на изграждащите основата на площадката седименти са използвани стойности, съобразени с цитираните в специализираната литература данни за подобен тип среда (Garabedian et all, 1988: Gelhar et all. 1992 и др.). В табл. 1 са представени залалените в молепа средни стойности на филтрационните и миграционните параметри на трите хидрогеоложки единици – обща порестост п, плътност на скелета р_d, коефициент на филтрация k, забавящ фактор R_f, надлъжна дисперсивност α_L и коефициент на молекулярна дифузия D_M.

Таблица 1

Филтрационни и миграционни параметри на основните хидрогеоложки единици

	ХИДРОГЕОЛОЖКА ЕДИНИЦА				
ПАРАМЕТЪР	Проницаем	Слабо проницаем	Слабо про- ницаема		
	Intact	пласт	зона		
n, -	0.36	0.39	0.33		
ρ _d , g/cm ³	1.62	1.63	1.83		
k, m/d	0.15	0.01	0.002		
R _f , -	1	1	1		
α _L , m	3.5	1.0	0.75		
Dм, m²/d	2x10-4	4x10-4	5x10-4		

Според приетата работна хипотеза, на територията на площадката при отсъствие на противофилтрационен екран, на дренажна система и на канали за отвеждане на повърхностните води, в продължение на 10 години от депонираните отпадъци изтичат "сметищни" води. От всички съдържащите се в тези води различни по вид и концентрация замърсители е уместно да се проследи поведението на хлоридните йони, които поради своята консервативност са изключително подвижни и най-точно маркират границите на възможното замърсяване в подповърхностното пространство.

В регионален план от повърхността в дълбочина постъпват около 5-6% от падналите валежи, т.е. скоростта на инфилтрация е W = 1×10^{-4} m/d. Съдържанието на хлоридни йони в инфилтриращите се валежни води е незначително и за тях може да се приеме, че $c_{CI} \approx 0$ mg/l. Същевременно, се приема (с много голям запас), че постъпващите в продължение на 10 години от територията на площадката "сметищни" води се инфилтрират с 10 пъти по-голяма скорост от валежните – Wp = 1×10^{-3} m/d. При това концентрацията на хлоридни йони в тези води е много голяма – c_{CI} = 1000 mg/l. В модела е прието още, че след първите 10 години изтичането на течни емисии от депонираните отпадъци е ликвидирано, теренът е почистен и от цялата повърхност постъпват единствено чисти води ($c_{CI} \approx 0$ mg/l) със скорост W = 1×10^{-4} m/d.

При тези начални и гранични условия прогнозата за разпространението на подвижните замърсители е направена в различни моменти от време за период от 100 години. Получените прогнозни решения позволяват да се оцени количествено и самопречистващата способност на геоложката основа.

Композиране на математическия модел

При композирането на модела са използвани компютърна програма VS2DTI и основните положения, представени в концептуалния модел.

Математическият модел е двумерен. С него се симулира поведението на бързите замърсители (по примера на хлоридните йони) в подповърхностното пространство в разреза по профил II-II (фиг. 3). Отделените три ниско рангови хидрогеоложки единици са симулирани с три моделни зони. Всяка моделна зона е зададена с геометрия, филтрационни и миграционни характеристики, отговаряши на реалните обекти (табл. 1). При решаването на филтрационната задача е приета функционалната зависимост на van Genuchten, като за параметрите RMC, α и в са използвани посочените в специализираната литература стойности за подобен тип геоложка среда (Healy, 1990; Lappala et al, 1987; и др.). Границата между неводонаситената и водонаситената зона в разреза е зададена, съобразно средногодишните водни нива в тялото на насипището и котата на водното ниво в езерото. На фиг. З тази граница е изобразена с пунктирана линия. При дискретизацията на моделната област е използвана ортогонална мрежа с размери на клетките 1.0x2.5 m.



Фиг. 3. Граници на моделните зони; гранични условия

Времето за симулация е разделено на 100 стрес периода. Всеки период е с дължина 1 година. През първите 10 стрес периода се приема, че от повърхността постъпват замърсени води със скорост на инфилтрация Wp = 1×10^{-3} m/d. Входната концентрация на хлоридните йони е с_{CI} = 1000 mg/l (фиг. 3). В следващите стрес периоди (от 11 до 100) постъпването на замърсители е преустановено и по цялата граница е зададено гранично условие W = 1×10^{-4} m/d и с_{CI} = 0 mg/l, т.е. от повърхността се инфилтрарат само чисти валежни води.

Резултати от математическото моделиране

С разработения математически модел в края на всеки стрес период е направена прогноза за размерите и степента на замърсяване в подповърхностното "Чукурово – вътрешно пространство на плошадка насипище". За илюстрация на получените резултати на фиг. 4 са представени четири вертикални карти по съдържание на хлоридни йони. Те дават добра представа за настъпилите промени в концентрационното поле в изчислителни моменти 1. 3. 5 и 10 години. т.е. в условията на непрекъснато постъпване на замърсители от земната повърхност. На фиг. 5 са представени други четири карти – за моменти 25, 50, 75 и 100 години, т.е. след елиминиране на основния източник на замърсяване. Тези карти илюстрират възможното последващо разпространение на замърсителите, при условие че от повърхността се инфилтрарат единствено чисти валежни води.

Обсъждане на резултатите от моделните изследвания

Сравнителният анализ на представения на фиг. 4 и фиг. 5 картен материал дава основание да се направи следния коментар относно евентуалните размери и динамиката на процесите на замърсяване на геоложката основа на площадка "Чукурово – вътрешно насипище".

При непрекъснато изтичане на "сметищни" води по цялата площ на бъдещото депо замърсителите ще се инфилтрират в дълбочина, като тяхната концентрация ще расте. Този процес ще протича много интензивно в горните неуплътнени части на насипището, където проницаемостта на средата е относително по-висока. В първите няколко години движението ще е предимно вертикално (фиг. 4). За 2-3 години бързо подвижните замърсители ще напреднат до дълбочина 17-18 m, като постепенно ще започнат да навлизат и в по-уплътнената (долна) част на насипището. Замърсяването ще е по-интензивно в приповърхностната част (до дълбочина 7-8 m), където концентрацията на хлоридните йони ще бъде над 500 mg/l.

следващите 10 години, в условията През на продължаващо навлизане на "свеж" сметищен инфилтрат, замърсената зона ще достигне до дълбочина 25 m. При това, след третата година най-замърсените води ще започнат да се движат и латерално (в североизточна посока), следвайки посоката на подземния поток и релефа на граничната повърхнина между неуплътнената част на насипишето и лежащите отдолу по-уплътнените материали (фиг. 4). Фронтът на замърсяване ще напредне със 120-130 m на североизток от границата на депото. През този период най-замърсена ще е горната част на насипището (до дълбочина 17-18 m). Тук се очаква съдържанията на хлоридни йони да са около и над 500 mg/l. В по-дълбоките части на насипището концентрациите ще са ниски – най-често в диапазона 100-200 mg/l.

След ликвидиране на повърхностния източник на замърсяване, замърсената вече зона ще продължи да се разширява и да напредва в дълбочина и на североизток, но концентрацията на подвижните замърсители в нея ще

започне рязко да намалява (фиг. 5). Около 1-2 години покъсно част от замърсените подземни води ще започне да се дренира на по-ниска кота (в петата на насипа по целия фронт на подземния поток с широчина около 500 m) под формата на разсеяни или съсредоточени изворчета със сумарен дебит, ненадвишаващ 0.1 l/s. Тези води с концентрации на хлоридни йони 30-40 mg/l ще се оттичат повърхностно към езерото. Същевременно, след около 60-65 години от началото на симулацията замърсените води в тялото на насипишето ше започнат да се дренират и подземно в езерото, но и в тях съдържанието на силно подвижни замърсители ще бъде доста ниско – под 50 mg/l. Замърсените води главно по дифузионен път ще проникнат по вертикала и в неогенските седименти - на дълбочина 6-7 m, но концентрациите на замърсителите в тях ще са също незначителни (под 30 mg/l).

В резултат на протичащите процеси на дифузия, дисперсия и смесване (разреждане) на замърсените води с инфилтриращите се валежни води в края на симулационния период (след 100 години) замърсената зона ще се измести на около 100-150 m от североизточния край на площадката (фиг. 5). При това концентрацията на хлоридни йони ще бъде не по-висока от 25-30 mg/l. В един по-дълъг период тези концентрации ще продължат да намаляват, като постепено ще доближат естествения фон.



постъпване на замърсени води от земната повърхност



Фиг. 5. Разпространение на замърсителите след ликвидиране на източника на замърсяване

Направените на базата на математическия модел прогнози дават основание да се предположи, че за подълъг период геоложката основа постепено ще се изчисти от подвижни и относително консервативни замърсители. Може да се очаква, обаче, че малка част от насипището ще остане или ще бъде впоследствие замърсена с доста широк спектър от по-слабо подвижни конвенционални и приоритетни замърсители (органични съединения, тежки метали и др.).

Следва да се отбележи все пак, че ако се спазват изискванията на законовите и нормативните документи, регламентиращи изграждането и експлоатацията на депата за отпадъци, симулираният с математическия модел сценарий ще е невъзможно да се реализира.

Заключение

Резултатите от моделните изследвания показват, че и при драстично неспазване на технологията за депониране замърсяването на земната основа в района на площадка "Чукурово – вътрешно насипище" ще е дълготрайно, но с твърде ограничени размери. То ще обхване само части от насипището, като ще засегне много малка част от неогенските седименти (до дълбочина 7-8 m). "Сметищните" води, които биха се дренирали подземно в ретензионния басейн (езерото) са незначителни като количества и съвсем слабо замърсени.

Следователно, геоложката основа е способна естествено да ограничи разпространението на замърсители и всички изказани опасения за достигане на някакви замърсени води от площадката до яз. "Искър" са несъстоятелни. В хидрогеоложки аспект теренът е подходящ за изграждане на депо за временно депониране на отпадъци.

Литература

- Стойнев, Ст. и колектив. 2006. Комплексни геоложки, геофизични, инженерно-геоложки и хидрогеоложки изследвания на територията на Република България за определяне на площадки на отпадъци. Резултати от проведените детайлни геологопроучвателни работи на площадка №18 – мина Чукурово – вътрешно насилище. Дог. №551/22.10.2004. Фонд на МОСВ, София.
- 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., Ч. Гюров. 2005. Математически модел за движението на замърсителите в зоната на аерация. – Геология и минерални ресурси, 3, 3-8.
- Bear, J. 1979. Hydraulics of Groundwater. New York, McGraw-Hill, 569 p.
- Brooks, R. H., A. T. Corey. 1964. Hydraulic properties of porous media. – In: Colorado State University Hydrology Paper, 3, 27 p.
- 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.
- Garabedian, S. P., L. W. Gelhar, M. A. Celia. 1988. Largescale dispersive transport in aquifers. – In: *Field experiments and reactive transport theory. Rep. 315,* Mass. Inst. of Technol., Cambridge.
- Haverkamp, R., M. Vauclin, J. Tovina, P. J. Wierenga, G. Vachaud. 1977. A comparison of numerical simulation models for one-dimensional infiltration. In: Soil Science Society of America Proceedings, 41, 285-294.
- Healy, R. W. 1990. Simulation of solute transport in variably saturated porous media with supplemental information on modifications to the U.S. Geological Survey's computer program VS2D. – In: U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 90-4025, Denver, Colorado, 125 p.
- Lappala, E. G., R. W. Healy, E. P. Weeks. 1987. Documentation of computer program VS2D to solve the equations of fluid flow in variably saturated porous media. In: U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 83-4099, Denver, Colorado, 184 p.
- van Genuchten, M. Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. – In: Soil Science Society of America Proceedings, 44, 5, 892-898.

Препоръчана за публикуване от

Катедра "Хидрогеология и инженерна геология", ГПФ

ГЕОФИЗИЧЕН МОДЕЛ НА ОФИОЛИТОВА ПЛАСТИНА, РАЗПОЛОЖЕНА В РАЙОНА НА СЕЛАТА АВРЕН, ГОЛЯМО И МАЛКО КАМЕНЯНЕ, ИЗТОЧНИ РОДОПИ

Александър Цветков

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София1700; atzvetkov@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Известно е, че в Източните Родопи беше доказано наличие на офиолитов тип скали – ортоамфиболити, серпентинизирани ултрабазити, метагабра и др. Те се отличават рязко по плътностни и магнитни свойства от вместващите ги скали. На юг от Крумовград се наблюдават две контрастни геофизични аномалии, изтеглени в север-южна посока. В участъка между Голямо Каменяне и Аврен е регистриран интензивен магнитен максимум, който се свързва с ефекта от силно магнитни серпентинизирани ултрабазити. Непосредствено на запад от него гравитационен максимум и по-слабо изразена магнитна аномалия се предизвикват от метагабра, които по геоложки данни са скали от океански тип земна кора. Аномалиите продължават на юг извън територията на България и според гръцки изследователи са предизвикани от ултрабазичи скали от т.н. Амфибол-серпентинитова единица в горната част на метаморфния фундамент. Съставените плътностни и магнитни модели показват, че геофизичните аномалии са предизвикани от две допиращи се плитки пластинообразни тела от серпентинити и метагабра с дебелина от погволяха, че геофизичните аномалии са предизвикани от две допиращи се плитки пластинообразни тела от серпентинити и магнитни модели показват, че геофизичните аномалии са предизвикани от две допиращи се плитки пластинообразни тела от серпентинити и метагабра с дебелина от порядъка на 1,5-2 km. В съответствие с геофизичното моделиране техните размери са значително по-големи от разкритията им на земната повърхност. Получените резултати потвърждават по-новите схващания, според които офиолитовите тела в изследвания район представляват части от голяма синметаморфна пластина, навлечена върху метаморфозирани гранити.

A GEOPHYSICAL MODEL OF THE OPHIOLITIC SLAB LOCATED AROUND THE VILLAGES AVREN, GOLYAMO AND MALKO KAMENYANE, EASTERN RHODOPE

Alexander Tsvetkov

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

ABSTRACT. The presence of ophiolitic rocks in the Eastern Rhodope region – orthoamphibolites, serpentinized ultramafic rocks, metagabbros etc., was determined. Their density and magnetic quantities differ significantly from the surrounding rocks. In the area south of Krumovgrad were observed two geophysical anomalies that extend in north-south direction. The east one represents intensive magnetic maximum between Golyamo Kamenyane and Avren and can be caused by the effect of strongly magnetic serpentinite ultramafic rocks. Close to the west was marked the gravity maximum and the non expressive magnetic high related to metagabbros. According to the geological data they are rocks of oceanic type Earth crust. The anomalies continue on south beyond the territory of Bulgaria and according to Greek researchers, are result of ultramafic rocks by the so called Amphibolite-Serpentinite Unit in the upper part of the metamorphic basement. The created density and magnetic models show that the geophysical anomalies are result of two touching shallow slab type bodies of serpentinite and metagabbros with a thickness of about 1.5-2 km. According to the geophysical modeling, their sizes are considerably larger compared to their outcrops. The obtained results corroborate the recent concept that the examined ophiolitic bodies in the research region represent parts of big syn-metamorphic slab that has been thrusting over the metamorphosed granites.

Въведение

Известно е, че на различни места в Източните Родопи бяха установени тела от ортоамфиболити, серпентинизирани ултрабазити, метагабра, еклогити и др., които се разглеждат като офиолитов тип скали, фрагменти от океански тип земна кора. Интерпретацията на създаваните от тях интензивни гравитационни и магнитни аномалии в някои участъци, като например в района на селата Розино, Бели дол, Кондово (Nikova et al., 1995) показва, че тези скали формират в близост до земната повърхност пластинообразни тела със значителни хоризонтални размери и максимална дебелина над 1000 m. В съответствие с геофизичните данни най-вероятно те не са с алохтонен произход. Големи тела от серпентинизирани ултрабазити бяха установени на земната повърхност или в сондажи и на много други места в Родопския масив – при селата Голямо Каменяне, Добромира, Яковица, Средско и др. Интензивните гравитационни аномалии със значително площно разпространение в района на Ивайловград.

Кърджали, с. Чорбаджийско и др. се свързват с наличие на пластинообразни тела от ортоамфиболити и други скали от същия тип с голяма обемна плътност.

Физични параметри на офиолитите

За изучаване на физичните параметри на офиолитовите скали са използвани данните от лабораторни измервания на голям брой скални образци от повърхностни разкрития и сондажи, които са събирани през различни години, главно при провеждането на детайлни и средномащабни геофизични изследвания. Допълнително опробване е извършено и при новото геоложко картиране на Източните Родопи. Цялата информация е анализирана в геофизичните раздели на докладите от геоложката картировка. По-важните особености на петрофизичната характеристика на офиолитовите скали в изучавания район (Цветков в: Саров и др., 1995) се изразяват в следното:

Амфиболитите се отделят като дълги до няколко километра лещовидни или пластовидни тела, които са в пространствена връзка с ултрабазични пластини или изолирани лещи. Голяма част от тях са с ортопроизход. По данни от 110 бр. образци от участъците на селата Гол. Каменяне, Аврен, южно от Чорбаджийско средната им плътност е 2.86 g/cm³. Хидротермалната промяна води до намаляване на този параметър с 0,1-0,2 g/cm³. На практика са немагнитни, но в отделни случаи, поради повишено съдържание на магнетит. магнитната им възприемчивост достига до 2000.4π.10⁻⁶SI. Серпентинизираните ултрабазити представляват фрагменти от деформирани, разкъсани и будинирани пластини и блокове. За тях са характерни интензивни метаморфни преобразования с доминиращо развитие на серпентинизацията. Преобладават харцбургити, сравнително често се срещат дунити, по-рядко – пироксенити. В резултат на значителните тектонски въздействия са напукани, милонитизирани и брекчирани. По данни от 48 бр. образци от разкриващи се или пресечени със сондажи или минни изработки тела при селата Голямо Каменяне, Аврен, Егрек, Голям Девисил се характеризират с много висока магнитна възприемчивост – над 2000.4 л. 10-6 SI и сравнително ниска средна плътност – 2.52 g/cm³. Високите магнитни свойства се дължат на феромагнитните минерали магнетит, магхемит, пиротин и др., които се отделят при серпентинизацията. Част от изследваните образци, определени като ултрабазити, очевидно не са засегнати от процесите на серпентинизация. Те се характеризират със значителна плътност (средно 2,90 g/cm³) и са практически немагнитни. Включването им в тази група обуславя посложно бимодално разпределение на магнитната възприемчивост и високи стойности на стандартното отклонение за този параметър. Гранат-слюдените шисти северно от с. Черничево се отличават с бимодалност в разпределението на плътността, чиято средна стойност е 2,71 g/cm³, но се отделя група от по-тежки скали със оср. = 2.85 g/cm³. Всички изследвани образци са немагнитни. Метаморфозираните габра са изучавани с ограничен брой проби (6 бр.) Те са с плътност 2,80-2,85 g/cm³ и магнитна възприемчивост ОТ порядъка на 500-600.4π.10⁻⁶SI.

Приведените данни показват, че голяма част от офиолитовите скали ОТ южната периферия на Източнородопското понижение се характеризират с рязко различаващи се от останалите скали стойности на плътността и магнитната възприемчивост. По тези параметри те се открояват особено контрастно от автохтонно лежащите под тях метаморфозирани гранити, които са практически немагнитни, а плътностната им разлика е от порядъка 0,20-0,30 g/cm³. Отделят се и от останалите метаморфни скали в района - биотитови и двуслюдени гнайси, мрамори, параамфиболити и др. Това е причината, поради която офиолитовите тела се регистрират с интензивни аномалии върху картите на пълния вектор ΔT от аеромагнитни снимки в М 1:50000 и 1:25:000 и на картата на гравитационното поле Да в М магнитни максимуми ce 1:50000. С бележат серпентинизираните ултрабазити, а големите тела, изградени от ортоамфиболити, тежки ултрабазити (например дунити), еклогити, шисти с гранат и други при Камилски дол, Пелевун, Кърджали, Чорбаджийско, Харманли и други места предизвикват гравитационни максимуми. Подобна картина в геофизичните полета се установява и в гръцката част на Родопския масив, където са отделени значителни по размери тела от ултрабазити и ортоамфиболити, които се разглеждат като офиолитов комплекс (Dimadis, Zachos, 1989) или като офиолити от т.н. Амфибол-серпентинитова единица в горната част на метаморфния фундамент (Maltezou and Loukoyannakis, 1993).

Геолого-геофизична характеристика на района

Характерен пример за наличие на значителни по размери офиолитови тела се наблюдава в района на селата Аврен, Голямо и Малко Каменяне в южния борд на Източнородопското палеогенско понижение. Както се вижда от геоложката карта (Саров и др., 1995), на около 10 km южно от Крумовград се разкрива пластина от серпентинизирани ултрабазити с преобладаващ дунитов състав (фиг. 1). Тя е с разкрита площ около 1,5 кв. км и е заобиколена от няколко по-малки тела. По геоложки данни това е част от ултрабазитова ивица с ширина около 5 km. Върху аеромагнитната карта на ΔT по данни от аерогеофизични измервания в М 1:50000 (фиг. 2А, Б) тя се бележи с интензивна положителна магнитна аномалия с максимална стойност над 800 nT.



Фиг. 1. Геоложка карта на изследвания участък (Саров и др., 1995)

Въпреки че в крайграничната ивица не са проведени геофизични изследвания, по вида на магнитното поле от двете страни на границата (фиг. 2Б) може да се съди, че тя вероятно продължава с още по-големи размери и на територията на Гърция.

^{1 –} кватернер; 2 – палеогенски седименти; 3 – амфиболити; 4 – биотитови и амфибол-биотитови гнайси; 5 – мрамори и калкошисти; 6 – серпентинизирани ултрабазити; 7 – метагабра; 8 – шисти с гранат; 9 – плагиометагранити; 10 – равномернозърнести метагранити; 11 – лептитоидни гнайси; 12 – разседи и разсед-отседи; 13 – синметаморфен навлак



Фиг. 2. Разпределение на магнитното поле ∆Т по данни от аерогеофизични измер-вания: А) в участъка на с. Голямо Каменяне с разположението на избраните четири профила за двумерно моделиране; Б) в прилежащите територии на България и Гърция



На запад от линията Голямо Каменяне - Аврен върху геоложката карта са отделени метаморфозирани габра, считани преди новото картиране за мигматизирани амфиболити и биотитови гнайси. Техните петрохимични особености позволяват да се приеме, че имат магмен произход и представляват диференциат на океански тип базична магма (Саров и др., 1995).

В основата им се наблюдават лещи от еклогити (Кожухаров, 1987). Бележат се с относително слабо повишено магнитно поле (фиг. 2), което постепенно се разширява на юг-югоизток. В границите на аномалията се отделят локални максимуми (150-200 nT), свързани с разкрития на метагабра на земната повърхност.



Фиг. 3. Карта на гравитационното поле ∆g в изследвания участък с разположението на профила, по който е съставен двумерен плътностен модел

На фиг. 3 е представена и картата на гравитационното поле по данни от изследвания в М 1:50000 с корекция за релеф. Върху нея се наблюдава обширен максимум, обусловен от съвместните ефекти на тежките метагабра и ортоамфиболити, които трудно могат да се разграничат.

Резултати от геофизичното моделиране

С оглед получаване на допълнителни данни за морфологията на офиолитовите тела са приложени количествени методи за интерпретация на геофизичните данни. Като краен резултат от извършените изследвания са съставени няколко двумерни магнитни и плътностни модели на изучаваните тела по метода на формалния подбор. Изчисляването на полето на моделите е извършено с помощта на програмите SIMAG-21 и SIGRAV-23, разработени от П. Ставрев и др. (1988, 1991). Възприетият подход при моделирането се основава на възможно най-детайлно изучаване на физичните параметри на скалите и привличане на наличните априорни геоложки данни при съставянето на първоначалните модели.

Магнитното моделиране е извършено по четири профила, пресичащи напречно изтеглените в северсевероизточна посока характерни магнитни аномалии (фиг. 2A). Съставянето на модели по система от профили дава възможност за получаване на обемна представа за особеностите в морфологията на изследваните обекти. Резултатите от моделирането са представени на фиг. 4. Моделите представляват комбинация от две допиращи се тела – източно, силно магнитно, отговарящо на серпентинизирани ултрабазити и западно, с по-слаби магнитни свойства, свързано с метагабра. Големините на векторите на ефективната намагнитеност J (съответно 200 nT и 80 nT) са подбрани на основата на данните за магнитната възприемчивост на телата, а наклоните им са избрани в съответствие с наклона на нормалното магнитно поле в изследвания район. Съставените магнитни модели дават основание да се приеме, че офиолитовите тела са с пластинообразна форма и почти хоризонтална горна граница, като части от тях се разкриват на земната повърхност.

Тялото от серпентинизирани ултрабазити е със значително по-големи размери спрямо разкритията му на повърхността, като неразкритата част се развива в източна и южна посока. Тялото е изтеглено в север-южна посока и е с ширина 4,5 km в южната част на площта и 3 km на север от с. Малко Каменяне. Дебелината му е около 1,5-2 km. Наклонено е на юг и на изток. Най дълбоко заляга в южната част на изследваната площ. Тук по профил 1 (фиг. 4А) средната дълбочина на горната му граница е над 600 m от земната повърхност. Допълнителна представа за формата и размерите на серпентинитовото тяло дават съставените по данните от четирите профила две други негови изображения. На фиг. 4Б е показано полученото с участието на С. Димовски и Ч. Гюров тримерно изображение с поглед от югозапад и отдолу, а на фиг. 4В е представена схема на дълбочините на горната и долната му граница в план.



Фиг. 4. Магнитни модели на офиолитовите тела в района, южно от Крумовград; А – двумерни модели по избраните профилни линии; Б – тримерно изображение на серпентинитовото тяло – поглед от югозапад; В – схема на дълбочините на серпентинитовото тяло (горна граница – с плътна линия, долна граница – с пунктир); 1 – магнитно поле ΔТ: а) наблюдавано, б) изчислено за модела; модели на магнито-активни тела с данни за големината Ј и наклона φ на вектора на естествена остатъчна намагнитеност: 2 – серпентинити; 3 – метагабра

Според получените от магнитното моделиране резултати пластината, изградена от метаморфозирано габро, е с около 1 km по-малка ширина и сходна дебелина спрямо ултрабазичното тяло. Източната и западната й граници са приблизително успоредни на тялото от серпентинити. Като се съди по магнитното поле, тялото продължава на юг-югозапад ОТ изследваната площ, следвайки установените разкрития на тези скали. По профил 1 долната граница на пластината от метагабро достига дълбочина над 3 km. Това е най-голямата дълбочина на офиолитовите скали в района, установена по геофизични данни.



Фиг. 5. Геолого-геофизичен разрез по профил Лимец-Голямо Каменяне-Чернооки:

А – криви на наблюдаваното и изчисленото гравитационно и магнитно поле; Б – плътностен и магнитен модел; В – геоложки разрез (Саров и др., 1995) 1 – брекчоконгломерати; 2 – ортоамфиболити; 3 – мрамори и калкошисти; 4 – серпентинизирани ултрабазити; 5 – метагабра; 6 – шисти с гранат; 7 – плагиометагранити; 8 – равномернозърнести метагранити; 9 – зона на синметаморфно навличане; 10 – повърхнина на люспуване; 11 – контур на тяло от плътностния модел със средната му плътност (g/cm³); 12 – контур на магнитоактивно тяло от магнитния модел с данни за големината J и наклона φ на вектора на естествената остатъчна намагнитеност

По един профил, преминаващ през селата Лимец – Голямо Каменяне – Чернооки е съставен и плътностен модел (фиг. 5). Част от него съвпада с профил 4 от магнитното моделиране. При съставянето му също е заложена идеята за наличие на офиолитова пластина, разкрития на тези скали. По профил 1 долната граница на пластината от метагабро достига дълбочина над 3 km. Това е най-голямата дълбочина на офиолитовите скали в района, установена по геофизични данни. На един и същ разрез са представени и магнитният и плътностният модел, което позволява да се съпоставят резултатите от двата вида моделиране. Широкият гравитационен максимум е отместен на запад от магнитния екстремум. Той е обусловен от наличието на плътни скали – преди всичко метагабра, сред които се наблюдават и по-малки тела от ортоамфиболити, а вероятно и непроменени ултрабазити. Включения от ортоамфиболити са регистрирани и сред серпентинизираните ултрабазити и това обуславя сравнително високата обобщена плътност (2,75 g/cm³) на контура от плътностния модел на изток от Голямо Каменяне. По-долу в разреза, на основата на сеизмични данни (Велев, 1994) е допуснато наличие на подълбоко лежащи плътни скали.

Геофизичните модели се допълват с геоложки разрез (фиг. 5В) по линията на профила, съставен от С. Саров в съответствие и с геофизичните данни (Саров и др., 1995). Разрезът дава възможност да се види навличането на офиолитовите тела върху по-старите метаморфозирани гранити. По геоложки данни горната граница на ултрабазитите с амфиболитите и мраморите също е тектонска.

Изводи

В заключение може да се каже, че геофизичните данни позволяват да се получат важни сведения за морфологията на офиолитовите тела, разкриващи се на юг от Крумовград. За пръв път тук се установява тяло с относително големи размери, изградено основно от метаморфозирани габра с висока плътност (от порядъка на 2,80-2,85 g/cm³). Съгласно съставените геофизични модели, то се разполага около селата Малко Каменяне и Малък Девисил, непосредствено на запад от разкриващите се на земната повърхност серпентинизирани ултрабазити при с. Голямо Каменяне. По този начин може да се говори за наличие на нееднородна по състав офиолитова пластина в участъка между селата Лимец, Кокошар, Калайджиево и Благун, която включва допиращи се тела от серпентинизирани ултрабазити и метаморфозирани габра, с включения в отделни участъци на ортоамфиболити. По геофизични данни в избрания участък пластината има размери в екваториално направление от 5 до 9 km в план и от 1,5 до 2, 5 km в разрез. Част от нея се разкрива на земната повърхност, а извън разкритията горната й граница достига дълбочина до около 0,5 km. В съответствие с характера на магнитното поле (фиг. 2А, Б) наличие на неразкриващи се офиолитови скали следва да се очаква и на юг, в участъка на селата Голям и Малък Девисил и Аврен, вкл. и в гръцката част на Източните Родопи. Според резултатите от изследвания на гръцки специалисти, в района на Esohi – Кіті се оформя друго голямо по размери силно магнитно тяло от серпентинити с подобни размери и форма (Maltezou, Loukoyannakis, 1993).

Резултатите от проведената комплексна интерпретация на магнитни и гравиметрични данни в района южно от Крумовград показват, че разкриващите се тела от ултрабазити, ортоамфиболити, метагабра и др. представляват разкриващи се или плитки тела, които в съответствие с данните от новата геоложка картировка на Източните Родопи в М 1:25000 (Саров и др., 1994; 1995) се разглеждат като пластини, навлечени синметаморфно върху метаморфозирани гранити. Навлачната повърхност се бележи с интензивен гравитационен градиент.

Натрупаните напоследък факти дават основание на редица автори от България, Гърция и Турция да приемат, че в резултат от колизия между две континентални плочи през късната креда в Източните Родопи са се обдуцирали метаофиолитови фрагменти от океански тип земна кора серпентинизирани ортоамфиболити, ултрабазити, метагабра, еклогити и др. (Ivanov, 1985; 1988; Иванов и др., 1990; Кожухарова, 1984; Burg et al., 1990; Саров и др., 1994: 1995: Dimadis, Zahos, 1989: Maltezou, Loukovannakis, 1993; Gorur et al., cited in Robertson and Dixon, 1984 и др.). Според Ж. Иванов и др. (1991) целият Родопски масив представлява навлачна постройка от синметаморфни и постметаморфни навлаци. Особеностите на геоложкия строеж в участъците, засегнати от хоризонталните движения, не са изяснени окончателно. Във връзка с това всяка нова информация за строежа и морфологията на отделни офиолитови тела и комплекси в Източните Родопи допринася за по-пълното изследване на геоложката еволюция и металогенната перспективност на този регион.

Литература

- Кожухарова, Е. 1984. Произхождение и структурное положение серпентинизированных ультрабазитов докембрийской офиолитовой ассоциации в Родопском массиве. Метаморфические изменения ультрабазитов. – Geologica Balc., 14, 6, 3-36.
- Желязкова-Панайотова, М. 1989. Серпентинизирани ултрабазити. – В: *Неметални полезни изкопаеми в* България, том II, С., Техника.
- Желязкова-Панайотова, М. и др. 1981. Ултрабазиты Балканского полуострова и их рудоносность. – В: Материалы XXVII Межд. геол. конгресса, Москва, 9, 85-93.
- Саров, С. и др. 1995. Доклад за резултатите от изпълнението на геол. зад. "Геоложко картиране в М 1:25000 и геоморфоложко картиране в М 1:50000 с комплексна прогнозна оценка на минералните ресурси на части от Авренската синклинала и Кесибирското подуване, в района на с.с. Подкова,

Препоръчана за публикуване от Катедра "Приложна геофизика", ГПФ Токачка, Голямо Каменяне, Букова махала и др. на площ от 425 кв. км". – Геофонд на МОСВ, IV-426.

- Ставрев, П., В. Недев, И. Христова. 1988. Программная система интерпретации двухмерных магнитных аномалий. В: 33-й Междунар. геофиз. симпозиум, Прага, Труды В (II), 300-309.
- Ставрев, П., В. Недев, Р. Радичев. 1991. Програмная система интерпретации гравитационных аномалии. В: 36-й Междунар. геофиз. симпозиум, Киев, Доклады, т. *II*, 93-99.
- Burg, J. P., Z. Ivanov, L. E. Ricon, D. Dimov, L. Klain. 1990. Implications of shear sence criteria for the tectonic evolution of the Central Rhodopes Massif, Southern Bulgaria. – *Geology*, *18*, 451-454.
- Burg, J. P. et al., 1996. Syn-metamorphic nappe complex in the Rhodope Massif. Structure and kinematics. – Terra Nova, 8, 6-15.
- Dimadis, E., S. Zachos. 1989. Geological and tectonic structure of the metamorphic basement of the Greek Rhodopes. –*Geologica Rhodopica*, *1*, 122-130.
- Ivanov, Z. 1985. Position tectonique, structure geologique et evolution alpidique du massif des Rhodopes. – Guide de l'excurtion (appendix). Reunion extraordinaire de la Societe Geologique de France en Bulgarie, 45 p.
- Ivanov, Z. 1988. Aprcu general sur l'evolution geologique et structurale du massif des Rhodopes dans le cadre des Balkanides. – Bull. Soc. Geol. France, 8, 227-240.
- Kolceva, K., G. Eskenazy. 1988. Geochemistry of metaeclogites from the Central and Eastern Rhodope Mts (Bulgaria). – *Geologica Balc.*, 18, 61-78.
- Maltezou, F., M. Loucouyannakis. 1993. Geophysical evidence for the subsurface distribution and mode of emplacement of ophiolites in the Eastern Rhodope region, N. Greece. – *Tectonophysics*, 218, 355-365.
- Nikova, L., A. Tzvetkov, D. Tzvetkova, V. Nedev. 1995. Gravity and aeromagnetic study of the inhomogeneities in the metamorphic rocks of the South-Eastern Rhodope region, SE Bulgaria. – XV Congress CBGA, Athens, N 4/3, 1130-1133.
- Yanev, Y., F. Innocenti, P. Monetti, G. Serri, 1995. Paleogene collision magmatism in Eastern Rhodopes (Bulgaria) -Western Thrace (Greece): Temporal migration, petrochemical zoning and geodynamic significance – Geol. Soc. Greece, Sp. Publ., N 4 (XV Congress GBGA, Athens).

CLASSIFICATION OF THE REMOTE SENSING DEVICES AND TECHNOLOGIES FOR THE NATURAL HAZARDS STUDIES

Antoanetta Frantzova¹, Garo Mardirossian¹

¹Space Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences; afrantzova@abv.bg; mardirossian@space.bas.bg ²Geophysical Institute, Bulgarian Academy of Sciences; boyko.ranguelov@geophys.bas.bg

ABSTRACT. Many remote technologies, units (satellites, aircrafts, etc.) and monitoring devices of different types are in everyday use for the observations, registrations and warning systems about the different natural hazards. Several classifications based on the philosophy "before", "during" and "after" the disaster occurrence have been created. The simple parameters such as effectiveness, reliability, different types of the technical equipment have been considered. Most popular remote techniques and units are included in these classifications giving the end users a possibility to use them for the comparative analysis between the different technologies and remote methods used. The generalization about the different types of the natural hazards is performed based on the principles of the generation mechanisms, physical properties and negative consequences they could create.

It's clear that for some natural hazards the remote techniques are high effective, for others not so, for the rest – not at all. The different effectiveness of the registrations, monitoring and warning systems depends strongly on the technologies and sensors used. The main parameters according the classifications are the frequency bands, sensitivity, resolution, physical principles and methods used, etc.

Our purpose was to create the comparative tables easy for use, especially about the not wade range of the professionals with different orientation. They could be useful for the civil defense authorities, risk managers, land use planners and other similar specialists in their everyday risk management practice, in case of emergency situations, etc.

КЛАСИФИКАЦИЯ НА ТЕХНИЧЕСКИТЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ИЗПОЛЗВАНИ ЗА ИЗУЧАВАНЕ НА ПРИРОДНИТЕ ОПАСНОСТИ

Антоанета Францова¹, Гаро Мардиросян¹

¹Институт за космически изследвания, БАН; afrantzova@abv.bg; mardirossian@space.bas.bg ²Геофизичен иститут, БАН, boyko.ranguelov@geophys.bas.bg

РЕЗЮМЕ. В настоящата разработка за разгледани различните дистанционните методи и средства за изучаване и изследване на природни опасности. Класификация е базирана на принципите на "преди", "по време на" и "след" бедственото явление. Взети са под внимание параметри като ефективност, приложимост, глобалност, експресност на информацията и т.н. Включени са най-популярните средства (сателити със съответните инструменти на борда) за дистанционно изследване на Земята.

Направеният анализ показва, че приложимостта и ефективността на дистанционнито средства и данните от тях зависи от множество параметри – спектрален диапазон, (работна честота), пространствена разделителна спосоност, експерсност при получаване, обработване и доставяне на данните, възможности за едновременно използванета на данни от различни апаратури, полоса на обзор, орбитален период и т.н.

При избора и анализа на природните опасности (бедствия) са взети под внимание основните им физически характеристики, механизъм и начин на възникване и както и техния разрушителен потенциал.

Ясно е, че за изследването, изучаването и прогнозирнето на някой природни опасности дистанционните методи и средства са приложими и високо ефективни, докато за други са практически неприложими и/или неефективни.

Направените сравнителени таблици и графики са лесни за използване и предназначени предимно за широк кръг от потребители с различна специализация и ориентация. Предложените класификации дават на ползувателите (управленски кадри и планиращи органи) възможности за сравнителен анализ и оценка между различните методи и средства и тяхното приложение при различните видове природни опасности и бедствия.

Introduction

Despite enormous progress in the science and technology, most of the natural hazards and disasters are still unpredictable events and continuously brings people's life loses and cause huge damages all around the world.

During the last years, the space technologies (especially earth observing satellites) get wider application in research of natural hazards/disasters (Mardirossian, 2000). For example – the prediction of the most of the meteorological hazards is unthinkable without the use of the meteorological satellites.

The potential of the remote sensing for the monitoring of the Earth environment, risk application and their key role in risk management process are well known and largely used. Most of the remote sensing data are used in general by few people – mostly specialists of the observation and monitoring systems (Mishev, 1987).

Our objective is to made classification of the remote sensing technologies and units used about natural hazards, according their usefulness and applicability in the different phases of the risk and disaster management (process) and to crate comparative tables easy for use, especially about the wide range of the non-professionals and non- specialists with different practical applications. Most of the space units have combined applications – to follow up not only the natural, but as well as the man-made accidents, pollution, other catastrophes. In this study we limited our task and focused only on the natural hazards

Classification and analysis of the remote sensing technologies about natural hazards and risk management

For our purposes two tables and two charts have been created. The first table is not presented, because of the large size. It includes most of the earth observing satellites in orbit, which are of great help for disaster mitigation studies. Attention is paid to the communications satellites and Search and Rescue System (COSPAS/SARSAT).

In the table for each type satellite are presented some orbital parameters, instruments carried on board, frequency band, spatial resolution and instrument swath. Most of those sensors have applications in disaster mitigation practice, though depending of the physical properties of the objects on Earth and the nature of the disaster itself.

With a review of the satellites in orbit and their sensors the present work provides an insight to the suitability of satellites and sensors to their applications due to the different natural disasters.

Table 2 is created on the basis of table 1. In table 2 the different instruments and their usefulness and applicability in risk management process of natural hazards/disasters are described.

The classifications is based on the philosophy "before", "during" and "after" the disaster occurrence. "Before" means – preparatory stages, early warnings, vulnerability and risk assessment; "During" means – disaster monitoring in real or near-real time when it is possible; "After" means – damage assessment, modelling the negative effects of the past of future events.

The table shows that different instruments, depending on their type, band and resolution are applicable for different hazards at the different stage of the hazards observations and the risk management process.

Thee levels of applicability (low, medium and high) and 14 hazards had been selected including global phenomenon as climate change, El Nino and La Nina.

However, there is not yet a specific or complex platform or sensor that is dedicated to retrieve information on a particular type of disaster(s). The result of this situation is the need of retrieving information simultaneously from several systems, which implies problems and hardens the process of production of the needed information.

Some space techniques, such as those of weather forecast, have become operational and are used in the everyday practice. These weather forecast techniques permit early warnings and monitoring for some of the weather hazards, such as tropical cyclones, hurricanes, typhoons. On the contrary, the management practice of the other disasters only by satellite technology is on a research phase. The general reasons are that in case on rapid onset disaster and in disaster situation (and emergency management) the data should be easily and timely acquired (Mardirossian, 2000).

That is why the aerial aerospace laboratories, rescue helicopters and other similar devices information and ground data are still of crucial important. For that reason in figure 1 the applicability of the aerospace data is presented. Figure 2 shows suitability of the ground data and information.

דמטוב ב. דערטוטעע מווע מרטוונע טו נווב מוויבופות סמכווונבס נט נווב סנמעבס טו נווב וומנטומו וומבמת	Table 2.	Typology	and applicabil	ity of the	different	satellites	to the	stages	of the	natural	hazaro
---	----------	----------	----------------	------------	-----------	------------	--------	--------	--------	---------	--------

Satellite	Instrument	Before	During	After
Ikonos	camera system	(1),2,3,7,(8),9,10,11	(1),((8)), 9, (12)	1,2,3,7,8,9,10,11
QuickBird	BGIS 2000/	(1),2,3,7,(8),9,10,11	(1), ((8)), 9, (12)	1,2,3,7,8,9,10,11
	HRG	1,2,3,7,8,9,10,11	1,(8),9,12,14	1,2,3,7,8,9,10,11
Spot 5	HRS	1,2,7		
	VEGETATION 2	(7)	9	8,9
Landsat 7	ETM+	1,2,(4),3,7,8,9,10,11	1,8,9, (12),14	1,(2),3,7,8,9,10,11
DMC	ESIS, MSIS	1,2,3,7,8,9,10,11	1,8,9,(12),14	1,(2),3,7,8,9,10,11
	AMI			
ERS-2	(SAR	(1),(2),3,(4),7,(8),(9),10,11	(1),7,(9),10,11,(12),13,(14)	(1),2,3, 9,10,11
	Scatterometer)	4,6,(9),10, (11), 12	6,10,12	
	RA	((1)),((2)),((3)),4,6,(9),10, 12	6,(9),10,12,13	((3))
	ATSR2			
	(IRR	1,6,(8),(9),(10)	1,6,8,(9)	(1),(8)
	MWR)	((4)),(10),(11)	(10), (13)	
	GOME		1,5	1
	AATSR	1,6,((4)),(8),(9),(10)	1,6,8,(9),(14)	(1),(8)
ENVISAT	ASAR	(1),(2),3,(4),7,(8),(9),10,11	(1),7,(9),10,11,(12),13,(14)	(1),2,3, 9,10,11
	MERIS	((4)),((7)),8,9,((11)),((12))	((8)),9,(12), (13),(14)	8,9,((11))
	RA-2	((1)),((2)),((3)),4,6, (9),10,12	6,(9),10,12,13	((3))
	MWR	((4)),(10),(11)	(10), (13)	

	GOMOS		15	1
	MIPAS	(4)	(1) (5)	(1)
		(4)	(1), (3)	(1)
DADADGAT		(+) (1) (2) 3 (4) 7 (8) (0) 10 11	(1), (3) (1), 7, (0), 10, 11, (12), 13, (14)	
RADARSAT		(1),(2),3,(4),7,(0),(9),10,11	(1), 7, (9), 10, 11, (12), 13, (14)	(1),2,3, 9,10,11
		4	1,5	
AURA			1	4
	MLS			
			1,5	1
	IES (As hala)		(0) 40 44	4
	(As whole)	4,(9),10,11	(9),10,11	1
	AIRS	4		
AQUA	AMSU-A			
	HSB			
	AMSR-E	6,(4),((7)),((8)),(9),10,11,12	6,((7)),(9),10,11,12,13	
	MODIS	(1), ((2)), ((6)),(7),(8),(10),(11)	1, ((6)),8,9,(12),14	1, 8,9,(10),(11)
0.01.150.0	CERES	(4)		
CALIPSO		4	1,8	1,8
PARASOL	POLDER-P/Lidar	4	1,8	1,8
CloudSat	CPR	4,10,11	1,8,10,11,12	1,8
IceSat	GLAS	4	(1),(8),13	(1),(8)
Jason-1	RA	((1)),((2)),((3)),4,6, (9),10,12	6,(9),10,12	((3))
TOPEX/	ALT	((1)),((2)),((3)),4,6,(9),10,12	6,(9),10,12	((3))
Poseidon				
GRACE	K-band Ranging	Geodesy, Oceanography, ((2))		
GPS		1,2	7	1,2
LAGEOS	laser reflector	((1)), (2)		((1)), (2)
	ASTER	1, 2, (3), (4),((6)),7,8,9,10,11	1, ((6)),8,9,((11)),12,14	1,(2),(3),8,9,10,11
терра	CERES	(4)		
IERNA	MISR	(4)	((8)),9,14,(12),14	1,8,
	MODIS	(1),((2)),(4),((6)),(7),(8),(10),(11)	1, ((6)),8,9,(12),14	1, 8,9,(10),(11)
	MOPIT	((4))		
	AMSR	6,(4),((7)),((8)),(9),10,11,12	6,((7)),(9),10,11,12,13	
ADEOS/	GLI	(1),((2)),(4),((6)),(7),(8),(10),(11)	1, ((6)),8,9,(12),14	1, 8,9,(10),(11)
MIDORI II	Scatterometer	4,6,(9),10, (11), 12	6,10,12	
	ILAS-II	((4))	(1), (5)	(1)
	POLDER			
	(As whole)	4,6,(7),8,9,10,11,12	6,(7),8,9,10,11,12	
	AVHRR/3	1,((7)),(8),(9), 10	1,8,(9),10,(14)	(1),(8)
	HIRS/3			
NOAA/POES	AMSU-A			
series	AMSU-B			
	MHS			
	SBUV/2		1,(5)	1
	SARSAT	Search and rescue system		
	SEM/2	Space weather		
	(As whole)	4,6,(7),8,9,10,11,12	6,(7),8,9,10,11,12	
	AVHRR/3	1,((7)),(8),(9), 10	1,8,(9),10,(14)	(1),(8)
	HIRS/4			
	AMSU-A			
MetOp	MHS			
	IASI Sectors and the	4.6 (0) 40 (44) 40	(1), (5)	(1)
	Scaterommeter	4,0,(9),10, (11), 12	0, 10, 12	1
	GUME-2		1,5	
	GRAS	O such as days a stress		
	SAKSAI	Search and rescue system		
	SEIVI-Z		C (7) 0 0 40 44 40	
	(AS Whole)	4,0,(7),8,9,10,11,12	0,(7),0,9,10,11,12	
NOAA/GOES	Imager		((1)),((ð))	
	Sourraer	Space weather		
	SEIVI	Space weather		
	SAKSAI	Search and rescue system		

MeteoSat (second	(As whole) SEVIRI GERB	4,6,(7),8,9,10,11,12	6,(7),8,9,10,11,12 ((1)),((8))	
generation	SARSAT	Search and rescue system		

Legend: 1 – Volcano activity; 2 – Earthquakes; 3 – Tsunamis; 4 – Climate change, research and modeling; 5 – Ozone hole; 6 – El Nino, La Nina (ENSO) – SST; 7 – Landslides; 8 – Forest fires; 9 – Droughts; 10 – Storms, hurricanes (incl. high rain rates, strong winds); 11 – Floods (river), flash floods (incl. snow melt); 12 – Winter storms; 13 – Polar ice sheet; 14 – Global land coverage (incl. deforestation and desertification); (()) – low applicability; () – medium applicability; without bracket – high applicability

Acronyms and abbreviations:

AATSR - Advanced Along-Track Scanning Radiometer AIRS - Atmospheric Infrared Sounder ALT - Radar Altimetry AMI - Active Microwave Instrument AMSR - Advanced Microwave Scanning Radiometer AMSR-E - Advanced Microwave Scanning Radiometer AMSU - Advanced Microwave Sounding Unit ASAR - Advanced Microwave Sounding Unit ASAR - Advanced Synthetic Aperture Radar ASCAT - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ATSR - Along-track scanning radiometer AVHRR/3 -Advanced Very High Resolution Radiometer BGIS 2000 - Ball Global Imaging System 2000 BHRC 60 - Ball High Resolution Camera 60

CALIPSO - Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations CALIOP - Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization CERES - Clouds and the Earth's Radiant Energy System CMT - China Mapping Telescope COBAN - Multiband Camera CPR - The Cloud Profiling Radar

DMC Disaster Monitoring Constellation

EPS - Energetic Particle Sensor) ESIS - Extended Swath Imaging System) ETM+ - Enhanced Thematic Mapper Plus

GERB - (Geostationary Earth Radiation Budget) GLAS - Geoscience Laser Altimeter System GLI - Global Imager GOME - global ozone monitoring experiment GOMOS - Global Ozone Monitoring by Occulation of Stars GPS - Global Positioning System GPS Reflectometry ExperimentCLEO GRACE - Gravity Recovery And Climate Experiment) GRAS - GNSS Receiver for Atmospheric Sounding

HIRDLS - High Resolution Dynamics Limb Sounder HIRS/4 - High Resolution Infrared Sounder HIRS/3 - High Resolution Infrared Sounder HRG - High Resolution Geometric HRS - High Resolution Stereoscopic HSB - Humidity Sounder for Brazil

IASI - Improved Atmospheric Sounder Interferometer IIR - Imaging Infrared Radiometer ILAS-2 - Improved Limb Atmospheric Spectrometer 2 IRR - Imaging Infra-Red Radiometer

JMR - Jason Microwave Radiometer

MERIS - Medium Resolution Imaging Spectrometer MHS - Microwave Humidity Sounder) MIPAS Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding MISR - Multi-angle Imaging Spectroradiometer MLS - Microwave Limb Sounder MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer MOPITT - Measurements of Pollution in the Troposphere MSIS - Multispectral Imaging System MWR - Microwave Radiometer MWS (MS) - microwave sounder:

OMI - Ozone Monitoring Instrument

PanCam - Panchromatic Camera)

PARASOL (Polarization and Anisotropy of Reflectances for Atmospheric Science coupled with Observations from a Lidar) POLDER - Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance RA - Radar Altimeter

SAR - Synthetic aperture radar SARSAT - Search and Rescue System SBUV/2 - Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer), SEM-2 - Space Environment Monitor-2) SEVIRI - Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager), SCIAMACHY - Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography SSALT - Single-Frequency Solid-State Altimeter- Experimental

TES - Tropospheric Emission Spectrometer TMR - Topex Microwave Radiometer WFC - Wide-Field Camera XRS - Solar X-Ray Sensor

Visualization of the typologies

For the easier interpretation and better orientation of the end users, the graph plots of the data and information synthesized in the tables are presented as graphics. The first graph (Fig. 1) presents the suitability of the remote sensing data about the practical use before, during and after the natural hazards action stages. The natural hazards are grouped as in the previous tables and 3 levels of use are defined – low – 1; medium – 2; and high – 3. These levels show the possibility to obtain reliable data for the practical use, according the reliability and usefulness of the information retrieved by the respective remote sensing devices in general. Low – means limited use and effectiveness less then 20%; 2 – means effectiveness up to 50% and high means – more than 50%. These statistics are extracted from the theoretical assumptions and practical observations, by the different case studies, expert considerations, etc.



Fig. 1. Applicability (usefulness) of remote sensing (aerospace) data in the risk management process: "before" means – early warning, preparedness, and risk and vulnerability assessment, (including modeling); "during" – monitoring and fast response; "after" – damage assessment, (including modeling); 1 – low; 2 – medium; 3 - high

The use of the ground data and information is still the leading tendency in the recent practice. To compare the usefulness of the remote sensing data and the land installed devices the summary of the ground data effectiveness is made. The levels of use are defines by the same way as before; low -1; medium -2; high -3.





Fig. 2. Applicability (usefulness) of the ground data and on land observations in the risk management process: "before" means – early warning, preparedness, risk and vulnerability analysis, (includes modelling); "during" – monitoring and possible fast response; "after" – damage assessment, (includes modelling as well as); 1 - low; 2 - medium; 3 - high

Conclusions

Several classification and typologies are created about the recent satellites in use for the observations, monitoring, (hazards, vulnerability and risk assessment), which could be of practical use of the decision makers and rescue teams. The tables of the different satellites, their equipment and suitability for the risk management process contain data and information about the practical abilities of all these devices.

Graphical expressions about the possible use of the different space and land technologies for the "before", "during" and post disaster stages are presented, thus making easier interpretation and visualization of the devices in use.

Such kind of classifications and typologies are targeted to the everyday practice of the risk managers, decision makers and the rescue teams and could be implemented in their everyday practice. The analysis shows that the most critical points are connected to the fast communication of the data retrieved, the visualization and the automatic analysis, which could support the decision making process.

After the deeper analysis it is shown that the effectiveness of the remote sensing and technologies depends of several parameters – complexity, simultaneous use of the earth data and remote sensing data, frequency band, sensitivity, high/low resolution, sampling frequency of the measurements, reliability of the communication and data transfer, software tools and velocity of the data processing, etc.

References

David, T. Sandwell, Walter H. F. Smith, S. Gille, S. Jayne, K. Soofi, B. Coakley. Bathymetry from Space: White paper in support of a high-resolution, ocean altimeter mission. topex.ucsd.edu/marine_grav/white_paper.pdf

Envisat Product Handbooks:

http://envisat.esa.int/dataproducts/

European Space Agency official web side: http://www.esa.int

- Gregory, G. 1995. Remote sensing of volcanoes and their role in the global climate change. – *Adv. Space Res.*, *15*, 11, 17-26.
- Hallikainen, M. 1989. Microwave radiometry of Snow. Adv. Space Res., 9, 1, 267-275.
- Massonnet, D. 1995. Application of remote sensing data in earthquake monitoring. Adv. Space Res., 15, 11, 37-44.
- Mardirossian, G., 2000. Natural ecocatastrophes and aerospace techniques and instrumentation for their study. Academic Publishing House, Sofia, pp. 386
- Metternicht, G., L. Hurni, R. Gogu. 2004. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geospatial systems for hazard assessment in mountainous environments. – *Intern. J. Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 33–46.
- Mishev, D., T. Dobrev, L. Gugov. 1987. *Remote Sensing Methods in Geophysics and Geology*. Sofia, Publishing House "Technique", 272 p.

NASA current missions: http://www.nasa.gov/missions/timeline/ current/current_missions.html

Recommended for publication by Department of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting

- Ohkura, H. 1998. Application of SAR data to monitoring earth surface changes and displacement. – Adv. Space Res., 21, 3, 485-492.
- Resources of Earth Observation: http://directory.eoportal.org/ res_p1_Earthobservation.html
- Singhroy, V., K. Molch, R. Couture. RADARSAT InSar Monitoring of an Active Rock Avalanche. http://www.isprs.org/ publicationg/colated/(SPSE/html/concer/750.pdf

publications/related/ISRSE/html/papers/759.pdf

- Smith, K. 2001. Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster (Routledge Physical Environment Series). Routledge, 388 p.
- Verstappen, T. 1995. Aerospace technology and natural disaster reduction. Adv. Space Res., 15, 11, 3-15,
- Walter, S., D. Sandwell. 2004. Conventional bathymetry, bathymetry from space, and geodetic altimetry. – Oceanography, 17, 1 (www.tos.org/oceanography/issues/ issue_archive/ issue_pdfs/17_1/17_1_Smith_et_al.pdf).
- WMO, 1999. Comprehensive Risk Assessment for Natural Hazards. WMO/TD, No.955, 1995, Geneva.

TREATMENT OF ACID MINE DRAINAGE BY MEANS OF A NATURAL WETLAND

Stoyan Groudev, Irena Spasova, Plamen Georgiev, Marina Nicolova, Anatoli Angelov

University of Mining and Geology "Saint Ivan Rilski", Sofia 1700, Bulgaria, groudev@mgu.bg

ABSTRACT. Acid mine drainage waters generated in the uranium deposit Curilo were treated by means of a natural wetland located in the deposit. The waters had a pH in the range of about 2.5–4.5 and contained radionuclides (mainly uranium and radium), heavy metals (copper, zinc, cadmium, lead, nickel, cobalt, iron, manganese), arsenic and sulphates in concentrations usually much higher than the relevant permissible levels for waters intended for use in agriculture and/or industry. The wetland was characterized by an abundant water and emergent vegetation and a diverse microflora. *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* were the main plant species in the wetland but representatives of the genera *Juncus, Eleocharis, Potamogeton, Carex* and *Poa* as well as different algae were also present. An efficient cleanup of the polluted waters was carried out in the wetland during the different climatic seasons, even during the cold winter months at temperatures close to the freezing point. The water cleanup was due to different mechanisms but the microbial dissimilatory sulphate reduction and biosorption played the main role.

ТРЕТИРАНЕ НА КИСЕЛИ ДРЕНАЖНИ ВОДИ ПОСРЕДСТВОМ ЕСТЕСТВЕНО МОЧУРИЩЕ

Стоян Грудев, Ирена Спасова, Пламен Георгиев, Марина Николова, Анатолий Ангелов

Минно-геоложки университет "Свети Иван Рилски", 1700 София, groudev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Ккисели дренажни води, генерирани в урановото находище Курило, бяха третирани посредством естествено мочурище, разположено в находището. Водите бяха с рН в границите от около 2.5-4.5 и съдържаха радионуклиди (главно уран и радий), тежки метали (мед, цинк, кадмий, олово, никел, кобалт, желязо, манган) арсен и сулфати в концентрации обикновено много по-високи от съответните допустими нива за води, предназначени за използване в селското стопанство и промишлеността. Мочурището се характеризираше с богата водна и блатна растителност и разнообразна микрофлора. *Турha latifolia и Typha angustifolia* бяха главните растителни видове в мочурището, но представители на родовете *Juncus, Eleocharis, Potamogeton, Carex и Poa*, както и различни водорасли, бяха също представени. Ефикасно пречистване на замърсените води бе осъществено в мочурището през различните климатични сезони, дори през студените зимни месеци при температури близки до точката на замъзване. Пречистването на водите се дължеше на различни механизми, но микробната дисимилативна сулфатредукция и биособцията играеха главната роля.

Introduction

The uranium deposit Curilo, Western Bulgaria, for a long period of time was a site of intensive mining activities including both the open-pit and underground mining techniques as well as in situ bioleaching of uranium. The ore was rich in pyrite and, apart from uranium, contained some non-ferrous metals and arsenic. The mining operations in the deposit were ended in 1990 but since that time the deposit is a permanent source of acid mine drainage waters. These waters have low pH (usually in the range of 2.5–4.5) and contain uranium, radium, several heavy metals (copper, zinc, cadmium, lead, nickel, cobalt, iron, manganese), arsenic and sulphates in concentrations usually much higher than the relevant permissible levels for water intended for use in agriculture and/ or industry.

The generation of acid mine drainage waters is connected mainly with the oxidation of pyrite, other sulphides and uranium-bearing minerals by the indigenous acidophilic chemolithotrophic bacteria (Groudev et al., 2001).

Different methods to cleanup the above-mentioned polluted waters were tested under laboratory and pilot-scale conditions. Most of these methods were connected with the application of various passive systems such as alkalizing drains, natural and

constructed wetlands, permeable reactive barriers and rock filters, used separately or in different combinations (Groudev et al., 2002; 2004; 2005). Some data about treatment of such waters by means of a natural wetland are present in this paper.

Materials and Methods

The wetland was located in a ravine, which collected a portion of the acid drainage generated in the deposit. The wetland covered an area of about 500 m² (approximately 75 m long and 6–7 m wide). Intrusive rocks with a very low hydraulic conductivity served as a bottom of the wetland. The bottom was cover by a 0.3–0.5 m layer consisting of a mixture of soil, silt, sand and different sediments. The wetland was characterized by an abundant water and emergent vegetation and a diverse microflora. *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* were the prevalent plant species in the wetland but species of the genera *Juncus, Eleocharis, Potamogeton, Carex* and *Poa* as well as different algae were also well present. Data about the microflora of the wetland are shown in Table 1.

The water flow rate through the wetland varied in the range of about 0.2-1.2 l/s reflecting water residence times from about 70 to 12 hours.

Table 1

Microflora of the drainage waters and the natural wetland during the warmer months

Microorganisms	Samples				
	Drainage waters before treatment	Waters from the wetland	Sediments from the wetland		
	С	ells/ml (g)			
Aerobic heterotrophic bacteria	10 ¹ -10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁷	102-105		
Cellulose – degrading microorganisms	0-10 ²	10 ² -10 ⁶	10 ¹ -10 ⁴		
Fungi	0-10 ²	10 ¹ -10 ³	0-10 ²		
Fe ²⁺ – oxidizing chemo- lithotrophs (at pH 2)	10 ⁴ -10 ⁷	10 ¹ -10 ³	0-10 ²		
$S_2O_{3^2}$ – oxidizing chemo- lithotrophs (at pH 7)	0-10 ²	10 ² -0 ⁴	0-10 ²		
Fe ²⁺ – oxidizing heterotrophs (at pH 7)	0-10 ¹	10 ¹ -10 ⁴	0-10 ²		
Anaerobic heterotrophic bacteria	0-10 ²	10 ² -10 ⁵	10 ³ -10 ⁷		
Bacteria fermenting sugars with gas production	ND	10 ¹ -10 ⁴	10 ³ -10 ⁶		
Sulphate-reducing bacteria	0-10 ¹	10 ² -10 ⁶	10 ³ -10 ⁷		
Denitrifying bacteria	0-10 ¹	10 ² -10 ⁴	10 ² -10 ⁵		
Fe3+ - reducing bacteria	0-10 ¹	10 ¹ -10 ³	10 ³ -10 ⁶		
Methanogenic bacteria	ND	0-10 ¹	10 ¹ -10 ⁴		

The quality of the waters was monitored at least twice per month in a period of about six years at different sampling points located in the wetland. The parameters measured in situ included: pH, Eh, dissolved oxygen, total dissolved solids and temperature. Elemental analysis was done by atomic absorption spectrometry and induced coupled plasma spectrometry in the laboratory. The radioactivity of the samples was measured, using the solid residues remaining after their evaporation, by means of a low background gammaspectrophotometer ORTEC (HpGe-detector with a high distinguishing ability). The specific activity of Ra-226 was measured using a 10 I ionization chamber. The total β-activity was measured by a low background instrument UMF-1500 M. Mineralogical analysis was carried out by X-ray diffraction techniques. The mobility of the pollutants was determined by the sequential extraction procedure (Tessier et al., 1979).

Sediment samples from the wetland were subjected to microbial leaching using different mixed enrichment cultures of indigenous microorganisms: No 1 – mixed culture of aerobic heterotrophic microorganisms enriched in nutrient medium containing 0.2 % glucose and 0.2 % peptone as sources of carbon and energy, at pH 7.0; No 2 – mixed culture of anaerobic heterotrophic microorganisms enriched in nutrient medium containing 0.2 % lactate and 0.2 % acetate as sources of carbon and energy, at pH 7.0; No 3 – mixed culture of basophilic chemolithotrophic bacteria enriched in nutrient medium containing 1.0 % S₂O₃²⁻ as energy source, at pH 7.0; No 4 – mixed culture of acidophilic chemolithotrophic bacteria enriched in nutrient medium containing 1.0 % S₂O₃²⁻ as energy source, at pH 7.0; No 4 – mixed culture of acidophilic chemolithotrophic bacteria enriched in nutrient medium containing 1.0 % S₂O₃²⁻ as energy source, at pH 7.0; No 4 – mixed culture of acidophilic chemolithotrophic bacteria enriched in nutrient medium containing 1.0 % S₂O₃²⁻ as energy source, at pH 7.0; No 4 – mixed culture of acidophilic chemolithotrophic bacteria enriched in nutrient medium containing 1.0 % Fe²⁺ as energy

source, at pH 2.5; No 5 – natural water from the wetland not supplemented with any additives and containing only natural community of indigenous microorganisms, at pH 7.0, anaerobically. The leaching of sediments by these cultures was carried out in mechanically stirred reactors (300 rpm) containing 500 g sediment (dry weight) and 2 I leach solution each, at 20 °C for 14 days. The anaerobic leaching was carried out in nitrogen atmosphere.

The isolation, identification and enumeration of microorganisms were carried out by methods described elsewhere (Karavaiko et al., 1988; Widdel and Hansen, 1991; Widdel and Bak, 1991; Groudeva and Tzeneva, 2001).

Results and Discussion

An efficient clean up of the polluted waters was achieved by the wetland and the residual concentrations of the pollutants were decreased below the relevant permissible levels for waters intended for use in the agriculture and/or industry (Table 2). The removal of the pollutants markedly depended on the water temperature (Table 3). However, good results were achieved even during the cold winter months (December-February) at temperatures close to 0°C, although at higher residence times.

Table 2

Data about the drainage waters before and after their treatment by the natural wetland

Parameters	Before treatment	After treatment
Temperature, ⁰C	(+0.1)-(+25.1)	(+0.1)-(+27.7)
pH	2.4-4.15	6.8-7.5
Eh, mV	(+350)-(+572)	(+235)-(+385)
Dissolved O ₂ , mg/l	1.5-4.4	2.3-5.1
Total dissolved solids, mg/l	614-2822	370-1392
Solids, mg/l	28-114	23-77
Dissolved organic carbon, mg/l	0.6-4.4	17-68
Sulphates, mg/l	352-1630	181-590
Uranium, mg/l	0.32-3.41	<0.1
Radium, Bq/l	0.08-0.45	<0.05
Total β-activity, Bq/l	0.45-2.30	<0.5
Copper, mg/l	0.77-9.54	<0.5
Zinc, mg/l	1.25-23.5	0.05-1.9
Cadmium, mg/l	0.02-0.10	<0.01
Lead, mg/l	0.17-0.95	<0.1
Nickel, mg/l	0.41-2.08	<0.2
Cobalt, mg/l	0.32-1.70	<0.2
Arsenic, mg/l	0.01-0.37	<0.01
Iron, mg/l	80-914	0.2-1.9
Manganese, mg/l	1.0-35	<0.5

The removal of sulphates and of the largest portions of the heavy metals and arsenic present in the waters was due to the process of microbial dissimilatory sulphate reduction. The anaerobic sulphate-reducing bacteria were a quite numerous and diverse population, particularly in the bottom zone of the wetland, mainly in the sediments (Table 4). These bacteria were well adapted to the environmental conditions existing in the wetland and were not inhibited by the concentrations of pollutants present in the waters. The sulphate-reducing bacteria reduced the sulphate ions to hydrogen sulphide, using different organic monomers as donors of electrons for this reduction. The hydrogen sulphide precipitated the dissolved heavy metals and arsenic as the relevant insoluble sulphides. The dissolved hexavalent uranium was reduced to the tetravalent state and was precipitated mainly as the mineral uraninite (UO₂). The hydrocarbonate ions produced during the sulphate reduction, together with the chemical alkalizing agents (mainly carbonates) present in the wetland, increased the pH and stabilized it around the neutral point.

Table 3

Removal of pollutants from the drainage waters during the different climatic seasons

Pollutant	Pollutant removal, g/24h				
	During the	During the cold			
	warmer	winter months			
	months	(at 0 - 5 ∘C)			
Uranium	62 - 242	23 - 82			
Copper	91 - 451	32 - 154			
Zinc	190 - 974	41 - 387			
Cadmium	1.4 - 5.9	0.5 - 1.7			
Lead	21 - 77	8.2 - 24			
Nickel	48 - 145	21 - 53			
Cobalt	41 - 122	15 - 44			
Manganese	109 - 1090	51 - 334			
Arsenic	14 - 41	0.5 - 18			

Table 4

Sulphate-reducing bacteria in the sediments in the natural wetland

Sulphate-reducing bacteria	Cells/g
	dry
	sediments
Desulfovibrio (D. vulgaris,	10 ³ - 10 ⁷
D. desulfuricans, D. saprovorans)	
Desulfobulbus (D. elongatus, D. propionicus)	10 ² – 10 ⁶
Desulfococcus (D. postgatei)	10 ¹ – 10 ⁴
Desulfobacter (D. multivorans)	10 ² - 10 ⁶
Desulfobacterium (D. autotrophicum,	10 ¹ - 10 ³
D. vacuolatum)	
Desulfotomaculum (D. nigrificans, D. orientis)	0 – 10 ²
Desulfosarcina (D. variabilis)	10 ¹ – 10 ³
Desulfomonas (Non-identified species)	10 ¹ – 10 ³

Portions of the uranium, heavy metals and arsenic as well as most of the radium were removed by their sorption by the plant biomass (Table 5) and clay minerals present in the wetland. The dead plant biomass was more efficient sorbent than the living plants. Larger contents of pollutants were also found inside the dead plant cells. Relatively small portions of the pollutants were accumulated inside the living plant, mainly in their root systems. Some algae (mainly related to the genera Pediastrum, Eudorina, Volvox, Melosira and Scenedesmus) were efficient sorbents and accumulators of pollutants. The total content of heavy metals in some specimens of these algae exceeded 10 g/kg biomass, and that of radium exceeded 500 Bg/kg. Some microorganisms (mainly such related to the genera Aspergillus, Penicillium, Pseudomonas and Bacillus) also adsorbed pollutants. Negative effects of the pollutants on the growth and activity of the indigenous plant and microbial communities were not observed.

Table 5

Content of radionuclides, heavy metals and arsenic in living and dead biomass from the natural wetland

Pollutant	Typha	Typha latifolia		ngustifolia
	I		I	II
		mg/kg dry	biomass	
Uranium	64-262	64-325	41-222	60-321
Copper	109-352	125-545	80-284	99-398
Zinc	71-370	77-710	64-302	95-515
Cadmium	12-60	21-82	10-51	15-71
Lead	23-140	28-212	24-125	35-190
Nickel	48-203	59-321	35-170	32-280
Cobalt	44-208	60-284	35-145	62-244
Manganese	109-410	99-820	91-321	107-684
Arsenic	28-82	37-125	23-77	41-109

Notes: I - Living biomass;

II – Dead biomass during the winter months.

The total content of non-ferrous metals in some clay specimens exceeded 15 g per kg dry clay, and the contents of uranium and radium exceeded 1 g and 1000 Bq per kg, respectively.

The role of the sorption mechanisms was particularly essential during the cold winter months when the growth and activity of the plant and microbial communities in the wetland were negligible or completely inhibited. In this period the pollutants were present mainly in the sediments precipitated in easily soluble (exchangeable and carbonate) mobility fractions whereas the concentration of sulphides and uraninite was much lower compared to that measured during the warmer periods.

The removal of portions of iron and manganese was connected with the prior oxidation, mainly bacterial, of the Fe²⁺ and Mn^{2+} ions to Fe³⁺ and Mn^{4+} ions. The Fe³⁺ and Mn^{4+} ions precipitated as Fe(OH)₃ and MnO₂, respectively.

The leaching tests revealed that the sediments from the wetland were relatively refractory to microbial leaching, especially under conditions similar to the real conditions in the wetland, i.e. prevalent anaerobic conditions in the bottom zone, with pH around the neutral point, and microbial community consisting mainly of sulphate-reducing bacteria and other metabolically interdependent microorganisms (Table 6). Only small portions of manganese and iron were solubilized as a result of enzymatic reduction of Mn⁴⁺ and Fe³⁺ to the relevant bivalent forms. However, the dissolved Mn²⁺ and Fe²⁺ were again turned into insoluble compounds such as MnS, MnCO₃ and FeS. The results from these leaching experiments confirmed the data from the chemical analyses of the wetland effluents and revealed that the solubilization of the precipitated pollutants in the natural wetland was negligible.

The data from this study revealed that acid drainage waters heavily polluted with radionuclides, heavy metals and arsenic can be efficiently treated by means of natural wetlands with a proper size and suitable plant and microbial communities and located in areas with suitable geological, hydrogeological and climatic conditions. Such water clean up can be regarded as one of the most typical examples of sustainable development of natural ecosystems.

Table 6

Microbial leaching of pollutants from sediments from the wetland

Pollutants	Microbial cultures							
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5			
	Poll	Pollutant solubilized within 14 days, %						
U	22.4	2.5	4.6	70.7	2.3			
Cu	2.3	0.7	1.9	55.8	0.9			
Zn	5.0	0.9	4.1	57.2	1.2			
Cd	8.6	1.9	4.8	88.2	2.8			
Pb	14.0	1.0	2.3	1.9	2.5			
Mn	3.2	8.2	2.1	15.4	9.5			

Acknowledgements: A part of this work was financially supported by the National Fund "Scientific Research" under the project CENBIOHEALTH.

References

- Groudev, S. N., P. S. Georgiev, I. I. Spasova, M. V. Nicolova, L. Diels, 2004. Bioremediation of acid drainage by means of a passive treatment system. – Paper presented at the 20th Annual International Conference on Soils, Sediments and Water, Amherst, MA, October 18-21, 2004.
- Groudev, S. N., P. S. Georgiev, I. I. Spasova, M. V. Nicolova, Diels, 2005. – In: *Permeable Reactive Barriers & Reactive Zones* (Ed. Bastiaens, L.), VITO, Mol, 174-178.

Recommended for publication by Department of Engineering Geoecology, Faculty of Geology and Prospecting

- Groudev, S.N., K. Komnitsas, I.I. Spasova, P.S. Georgiev and I. Paspaliaris, 2002. Contaminated sediments in a natural wetland in a uranium deposit. – In: *Wetlands and Remediation*, Battelle Press, Columbus, OH, vol. II, 133-139.
- Groudeva, V. I., V. Tzeneva. 2001. Biodiversity of sulfatereducing bacteria (SRB) in anaerobic reactor for removal of heavy metals polluted water. – In: *Environmental Protection and Biotechnology (Innovative Aspects)* (Ed. A. Kujumdzieava), National Bank for Industrial Microorganisms and Cell Cultures, Sofia, 91-120.
- 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, 350 p.
- Tessier, A., P. G. C. Campbel, M. Bisson, 1979. Sequential extraction procedure speciation of particulate trace metals. – Analytical Chemistry, 51, 7, 844-851.
- Widdel, F., F. Bak, 1991. Gram-negative mesophilic sulphatereducing bacteria. – In: *The Prokaryotes* (Eds. A. Ballows, H. G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder and K. H. Schleifer), Springer, New York, NY, vol. IV, 2nd Ed., 3352-3378.
- Widdel, F., T. A. Hansen, 1991. The dissimilatory sulphate and sulphur-reducing bacteria. – In: *The Prokaryotes* (Eds. A. Ballows, H. G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder and K. H. Schleifer), Springer, New York, NY, vol. I, 2nd Ed., 583-624.

THE COMPARISON BETWEEN THE STRONG EARTHQUAKES NEAR SUMATRA (26th DECEMBRE 2004 AND 28th MARCH 2005) AND THEIR TSUNAMIGENIC POTENTIAL

Dessilava Milusheva¹, Boyko Ranguelov²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; dessie_milusheva@abv.bg ²Geophysical Institute, BAS, Sofia 1113

ABSTRACT. The comparative analysis about the two strong earthquakes near Sumatra Island (Indonesia) is made concerning their tsunamigenic potential. In the frame of the recent geotectonics, epicenter and hypocenter positions, depths of the seismic events, rupture process and the as well as other parameters considered the explanation about the tsunami generation process is outlined. The first giant earthquake (Mw9.3) generated a huge transatlantic tsunami, which kills more than 200 000 people in many countries around the Indian Ocean, thus appeared one of the greatest catastrophes during the mankind history. The second one (Mw8.7), located to the south produced a very small tsunami (which is absolutely unusual for such size of magnitude), but brought large destructions and more than 1000 deaths on the Nias Island. To know why two similar in power events generated (or did not generate) huge tsunamis, appears of essential importance in view of the people protection and economic safety of the threaten nations.

СРАВНЕНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ДВЕТЕ СИЛНИ ЗЕМЕТРЕСЕНИЯ КРАЙ СУМАТРА (26^{ти} ДЕКЕМВРИ 2004 И 28^{ми} МАРТ 2005) И ТЕХНИЯ ЦУНАМИГЕНЕН ПОТЕНЦИАЛ

Десислава Милушева¹, Бойко Рангелов²

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; dessie_milusheva@abv.bg ²Геофизичен институт, БАН, София 1113

РЕЗЮМЕ. Направен е сравнителен анализ относно цунамигения потенциал на двете силни земетресения край Суматра (Индонезия) през 2004 и 2005 г. Разгледани са техните тектонски позиции, силата, разположението на епицентрите и хипоцентрите им, дълбочините, процесите на разломяване и други параметри имащи отношение към процеса свързан с генерирането на цунами. Първото земетресение с магнитуд 9,3 предизвика огромни трансокеански цунами, които взеха повече от 200 000 жертви, явявайки се по този начин една от най-грандиозните катастрофи, сполетели човечеството. Второто – с магнитуд 8,7, разположено по на юг, предизвика относително малка вълна цунами (което е абсолютно необичайно за земетресения с подобна сила), но генерира тежки разрушения на остров Нияс. Установяването на причините, защо близки по сила земетресения генерират (или не), опасни цунами е от изключителна важност за защитата на населението и икономическата инфраструктура на застрашените страни.

Introduction

This study is focused on one of the main problems generated by the two strong earthquakes - the Sumatra one (on 26th December 2004, M~9.3) and the Nias one (March 28th 2005, M~8.7) and their tsunamigenic potential. To answer the question - why similar in their magnitudes and other dynamic parameters very strong seismic events, generated so different tsunamis? - is a complicated task. The first dangerous event (a couple of earthquake and tsunami) had heavy consequences of more than 200 000 fatalities. The second one - with relatively small tsunamis with no victims, produced about 1 500 deaths as a consequence mainly due to the earthquake effects to the buildings. These very strong and destructive disasters lead to this investigation. Many data and information have been collected and different models of explanations suggested. The special attention has been paid to the historical seismicity and tsunamis. The preliminary assessment of the observed differences of the both seismic events and occurred tsunamis suggests that probably several factors influenced the tsunami generation process. The main result of this study shows that the most probable explanation

about so different tsunami consequences are the volume of the displaced water due to the large bottom deformations of the both shocks and the average water depth of the areas where both shocks occurred.

Tectonic setting

The region where the great earthquake occurred on 26 December 2004, marks the seismic boundary formed by the movement of the Indo-Australian plate as it collides with the Burma subplate, which is part of the Eurasian plate. However, the Indo-Australian tectonic plate may not be as coherent as previously believed. According to recent studies reported in the Earth and Planetary Science Letters (vol. 133), it appears that the two plates have separated many million years ago and that the Australian plate is rotating in a counterclockwise direction, putting stress in the southern segment of the India plate. For millions of years the India tectonic plate has drifted and moved in a north/northeast direction, colliding with the Eurasian tectonic plate and forming the Himalayan Mountains. As a result of such migration and collision with both the Eurasian and the Australian tectonic plates, the Indian plate's eastern boundary is a diffuse zone of active seismicity and deformation, characterized by extensive faulting and numerous large earthquakes. The epicenter of the 26 December 2004 earthquake was near the triple point junction of three tectonic plates where major earthquakes and tsunamis have occurred in the past. Previous major earthquakes have occurred further north, in the Andaman Sea and further South along the Sumatra, Java and Sunda sections of one of the earth's greatest fault zones, a subduction zone known as the Sunda Trench. The great Sunda trench extends for about 3,400 miles (5.500 km) from Mvanmar (Burma) south past Sumatra and Java and east toward Australia and the Lesser Sunda Islands, ending up near Timor. Slippage and plate subduction make this region highly seismic. The volcanoes of Krakatau, Tambora and Toba, well known for their violent eruptions, are byproducts of such tectonic interactions. In addition to the Sunda Trench, the Sumatra fault is responsible for seismic activity on the Island of Sumatra. This is a strike-slip type of fault which extends along the entire length of the island. The Burma plate encompasses the northwest portion of the island of Sumatra as well as the Andaman and the Nicobar Islands. which separate the Andaman Sea from the Indian Ocean. Further to the east, a divergent boundary separates the Burma plate from the Sunda plate. More specifically, in the region off the west coast of northern Sumatra, the India plate is moving in a northeastward direction at about 5 to 5.5 cm per year relative to the Burma plate.

Data about the earthquakes

The 26th Boxing Day 2004 earthquake occurred with a starting point of the hypocenter located at 3,316°N; 95,854°E. The reported mechanism by the Harvard tensor moment solution was thrust type (Fig. 1a).



a) the 26th December 2004 seismic event





Fig.1 a and b. The Harvard moment tensor solutions of both shocks, showing the same thrust type dislocations. [http://earthquake.usgs.gov/]

Then the ruptured process has extended to the North for about 10 minutes and according different models (Wahyu Triyoso, 2005; José Fernando Borges, 2005) the area of the surface dislocations covered more than 337 500 sq. kilometers. The depth reached 33 km. The initial aftershock's behavior confirmed this direction of dislocation. Almost twothree months after the main event, all aftershocks covered the north part of affected area, thus suggesting the highest probability to expect the next strong event located to the south. The thrust type mechanism, the great magnitude, large area of surface deformations, the activation of the underwater deposits slides and the displaced water volume are the main factors leaded to the giant tsunami spread across the Indian Ocean and brought so much victims and destructions. The earthquake of March 28, 2005 (M~8.7, depth down to 33 km., coordinates 2,074°N; 97,013°E) was probably triggered by the dynamic stress loading caused by the 26 December 2004 (M9.3) earthquake. The March 28 earthquake occurred - as a result of thrust faulting - on the boundary of the Australian and Sunda plates (Fig. 1b). It was caused by the release of stresses when the Australian plate subducted (and perhaps rotated) beneath the overriding Sunda plate. This interaction results in convergence at the Sunda Trench and involves local movement, with a total area of displacement of about 63 750 km². The shock was located to the south of the ruptured area of the first strong seismic event, and thus could be considered as a giant aftershock - Fig. 2.



Fig. 2. The location of the both (26th Dec.2004 and 28th March, 2005) epicenters, ruptured zones (red and blue) and some aftershocks distribution, according their tectonic positions.

The data about the maximum heights of tsunamis and observed strong earthquakes in the region have been compiled and presented on Fig. 3 and Fig. 4. They show that this area is strongly seismic active and frequently produced tsunamis (Murty, 1977; Tinti, 1993). The maximum observed heights are connected with the 1883 Krakatau eruption and affected Batavia (at present Djakarta city).



Fig. 3. The tsunami maximum heights data distribution versus time about the area 15° S 15° N latitude and 90-120° E longitude. The question marks show the indicated tsunamis, without heights data



Time [Year]

Fig. 4. Data about the known earthquakes in the region 15° S 15° N latitude and 90-120° E longitude with magnitude greater than 7.0. The tsunamigenic earthquakes are indicated by solid bars

A comparative analysis

Such great earthquakes (magnitude greater then 8.0) do not occur with great frequency on earth. Great earthquakes occur on the average every ten years. In the 20th century there have

Table 1

Main characteristics of both earthquakes and tsunamis occurred on 26th December and 28th March

								Rupture	Volume		
				Earthquake	H _{max}		Rupture	width	displaced	Underwater	Energy
Date	М	H [km]	H _{water} [m]	mechanism	[m]	Location	length [km]	[km]	water [km ³]	landslides	released [J]
		30				3,316°N;					
26.XII.2004	9,3	(10-33)	500-750	Thrust type	37	95,854°E	1200-1300	270	210938	yes	3.35x10 ¹⁸
						2,074°N;					
28.111.2005	8,7	33	250-500	Thrust type	4.7	97,013°E	350-400	170	20719	?	1.11x10 ¹⁸

Conclusions

When the 26 December 2004 earthquake occurred, the Indian plate subducted the Burma plate and moved in a northeast direction. This movement caused dynamic transfer and loading of stress to both the Australian and Burma plates,

immediately to the south, on the other side of the triple junction point. As a result of this load transfer, the Australian plate moved in relation to the Burma plate and probably rotated somewhat in a counterclockwise direction, causing the great earthquake of 28 March 2005. The block that moved was relatively small in comparison. However, another great earthquake similar to that of 1833 (magnitude 8.7) along the

been about a dozen earthquakes with magnitude greater than 8 that can be characterized as great.

For two great earthquakes to occur so close to each other in time and space - as the 26 December 2004 and the 28 March 2005 events - is very unusual. However, the northern segment of the great Sunda Trench is a seismically unusual region of the world, characterized by very active interaction between the Indian and Australian tectonic plates and the Burma and Sunda subplates of the Eurasian tectonic block. Both of the recent earthquakes had their epicenters near the triple junction point where the Indian, Australian and Burma tectonic plates meet. Triple junction points of tectonic plates, particularly in areas of active subduction, are some of the most seismic areas of the world - capable of causing great earthquakes and tsunamis. The 1960 Great Chilean Earthquake and Tsunami originated near such a triple point tectonic junction. Usually, when a great earthquake occurs, most of the stress is relieved and another great earthquake may not occur for many years in the same region. However, this is not always the case, as dynamic stress loading can accelerate the occurrence of another earthquake along an adjacent seismic zone. Sometimes the opposite occurs and the release of energy on one segment, may also release stress on an adjacent seismic fault. In this case it appears that the process was accelerated rather than delayed. The summary of all investigated parameters have been presented at Table 1. Both seismic events have very similar characteristics (magnitude, depth, mechanism type). The differences are connected mainly to the ruptured areas (length, width, vertical displacements), average water depth, the supposed underwater slides and the tsunami parameters - maximum observed run ups and the displaced water volumes. It is visible that the maximum run ups Hmax are of one order difference and the displaced water volumes have the same differences. So, the reasonable explanation is connected with the presented model and due probably to the displaced water volumes. These numbers depends mainly on the average water depth in the areas of bottom displacements and their sizes. The energies released are 1/3 to 1/4 and depend on the magnitudes.

south coast of the western Sumatra, is possible. That particular earthquake generated a great tsunami. The waves may have been as much as 10 t0 15 meters on the western coast of Sumatra. Luckily, most of the energy from that tsunami was directed towards the unpopulated regions of the southwest Indian Ocean. According to Carayannis the smaller tsunami generated by the second shock is due to the different tectonic position, the lower energy (1/2 to 1/4 smaller) than to the first shock and the thicker sediments to the north (http://www.drgeorgepc.com/). According to our research and models the main reasons for the first generated giant tsunami are the earthquake ruptured mechanism, the great water volume displacements, the large magnitude and area affected (probably the underwater deposits slides activated) and the velocity of the rupturing process. The smaller second earthquake generated tsunamis are due to the shallower water

Recommended for publication by Department of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting

(the earthquake epicenter located just near the Nias Island) and smaller area of displacements covered by the smaller volume of ocean water.

References

Murty, T. 1977. Seismic Sea Waves Tsunami. Ottawa, 444 p. Tinti, S. 1993. Tsunamis in the World. Kluwer, 333 p. http://earthquake.usgs.gov http://walrus.wr.usgs.gov/news/reports.html http://www.emsc-csem.org/Doc/ http://www.drgeorgepc.com/

BOTTOM HOLE SHOCK ABSORBER APPLICATION IMPROVES DRILL CORE BIT PERFORMANCE IN WIRELINE DRILLING

Nikolay Nenkov, Shteryo Lyomov

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

ABSTRACT. This paper focuses on the application of bottom hole shock absorbers in wireline drilling operations. An attempt to explain the theoretical background of the borehole and core spiralling is made. Some laboratory and field results from bottom hole shock absorber testing are presented.

ПОДОБРЯВАНЕ НА РАБОТАТА НА СКАЛОРАЗРУШАВАЩИЯ ИНСТРУМЕНТ ПРИ СОНДИРАНЕ С ИЗВАЖДАЕМИ ЯДКОПРИЕМНИ ТРЪБИ И ПРИЛАГАНЕ НА ЗАБОЙНИ АМОРТИЗАТОРИ

Николай Ненков, Щерю Льомов

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

РЕЗЮМЕ. Високите честоти на въртене и осови натоварвания при проучвателното ядково сондиране с изваждаеми ядкоприемни тръби поставя редица проблеми като висок въртящ момент за сондиране, вибрации, спиралообразуване стените на сондажа и ядката, интензивно износване на сондажния инструмент и намален напредък както и механична скорост.

В стаята се разглежда проблема за повишаване производителността и качеството на сондиране с помощта на забоен амортизатор при сондиране с изваждаеми ядкоприемни тръби. Направен е опит за теоретично изясняване на причините за спиралообразуване. Дадени са резултатите от проведените изпитания на оригинална конструкция забоен амортизатор, както в лабораторни така и в промишлени условия.

Направените изводи показват, че прилагането на забойни амортизатори позволява да се разкрият допълнителни резерви за подобряване на техникоикономическите показатели на сондиране.

Introduction

High RPM and WOB in wireline drilling operations leads to excessive torque, vibration, borehole walls and core spiralling, and reduces core bit footage. Due to vibrations often the drill bit and drill string wear is considerable, while ROP decreases as well as the overall drill bit productivity i.e. less meter drilled per bit. Its observed also increased effect of natural deviation tendencies in cases where intensive micro (high frequency, low amplitude) vibrations modes of the system drill bit/string borehole exist.

Theory

Theoretical studies have shown that the problems have several sources. So far "perfect" picture and theory of its explanation doesn't exist. The core/borehole walls spiralling are result from the core bit interaction at the bottom of the hole. Most accepted theory is related with bit whirling with epicycloidsal (The path traced out by a point P on the edge of a circle of radius b rolling on the outside of a circle of radius a – Figure 1) and hypocycloidal (The curve produced by fixed point P on the circumference of a small circle of radius b rolling

around the inside of a large circle of radius a > b – Figure 2) rotations/movements.

At certain geo-technical conditions of drilling (rock hardness, rocks anisotropy, WOB, RPM, borehole-drill string geometry) the core bit rotates around a certain centre of rotation different from the borehole axis. This cause whirling as said above in open epicycloidal or hypocycloidal curves. The length travelled by single cutting structure can be as longer as 25% or even more.

This phenomenon explains why the same core bit type at same conditions might manifest different performance in term of rate of penetration and meterage.

Avoiding those problems can be achieved by two major ways technological and by use of Bottom Hole Shock Absorber (BHSA) as a part of the wireline core barrel.

The first approach requires reducing the weight on the bit and/or rotational speed. This leads decrease of the ROP and drilling daily production.



The second approach applies by use if the bottom hole sock absorber. In drilling operations it applications the BHSA reduces the axial vibrations and provides continuous contact between the core bit and the bottom of the hole, which helps reducing core bit vibration and thus bit whirling, wear, drill string fatigue accumulation. The BHSA is placed between the reamer and the core bit Figure 3.



Fig. 3. Bottom hole shock absorber (1 – core bit, 2 – bottom hole shock absorber, 3 – inner core barrel)

Its aimed to dampen the micro vibrations with an amplitude up to ca. 8 - 10 mm at optimal WOB and RPM.

Bottom hole shock absorber.

In an extensive research study BHSA 46, 59, 76 and 96 mm were developed. The design of the tool consists of the following components:

- Upper sub
- Upper semi ring
- Inner spring ring
- Outer spring ring
- Lower semi ring
- BHSA outer barrel
- BHSA Inner barrel
- Lower sub.

A spring performance curve for NQ –size BHSA spring is shown at Figure 4.

The BHSA – 59 was used in drilling operations at "Elshitza" ore deposits, near Panagurishte. The BHSA was applied at depth from 90 to 450 m. 40 drill bit were observed in the study. In 20 of the cases BHSA was used while the 20 were used as a control to compare BHSA performance.

BHSA Spring Performance



Fig. 4. BHSA spring performance experimental and theoretical

The rock conditions were andezites with quartzs, datzites, porfirites and granodeorites. Rock drillability index was in the range 8 and 9. The results are presented in table bellow.

Nr.	Parameter	BHSA	Conv.
1.	Core Bit Footage, m	24,8	18,6
2.	ROP, m/h	1,8	1,5
3.	Bottom hole power, kW	2,0	1,9
4.	Specific bottom hole power, kW.h/m	1,12	1,25
4.	Avrg Run, m	1,7	1,8
5.	Footage	494	372
6.	Outside diameter wear, mm	0,55	0,71

In Figure 5 below is shown the ROP in drilling with and without BHSA and specific bottom hole power at the bit in both cases.



Fig. 5. ROP and Specific bottom hole power

Figure 6 shows effect of BHSA on cores formed during drilling. from drilling without and with application of a BHSA.


Fig. 6. A - core obtained in drilling without BHSA; B – core obtained in drilling with BHSA

When BHSA is employed in WL drilling operations the following main advantages are achieved:

Reduces vibrations; Increases the ROP; Decreases the specific drilling energy (Nbit/ROP); Eliminates the borehole/core spiralling; Increases the core bit footage; Reduces the borehole deviation tendencies; Less need for on-bottom core bit sharpening; Reduces the core blocking;

Recommended for publication by Department of Drilling and Oil and Gas Production, Faculty of Geology and Prospecting Reduces the dynamic loads on the drill string and improves its performance.

Conclusions

The results prove that the application of bottom hole shock absorber in wireline drilling improves drill bit performance and overall drilling project economy. Bottom hole shock absorbers are prospective bottom hole tools that have huge potential in improvement wireline drilling efficiency.

EXPERIMENTAL RESEARCHES REGARDING THE DRILLING PIPE LOADINGS IN THE STARTING PHASE OF THE MINE DRILLING PROCESS

Simion Parepa

Petroleum-Gas University of Ploiesti, Ploiesti 2000, Romania

ABSTRACT. The drill column used for mine shaft drilling (exploitation and aerating) consist of elements (bit, drill stabilizer, drill collars and drill pipes) having large diameters, masses and mass moments of inertia respectively. As a result, the dynamic moments and dynamic loadings are important, especially during the transient periods of the rotating motion. For that reason it is necessary the knowledge of the pipe dynamic loadings in the starting phase of the drill column rotating motion. As follow, in the paper the experimental research results are presented by using the stress-resistive method concerning the dynamic loadings (physical actions and stresses) of the drilling pipe body of 10³/₄ inches and of its zones with stress concentrators. There are also specified the experimental conditions during the drilling of a mine shaft having a diameter of 142.5 inches (3.62 m) by using a drilling rig of F320-3DH-M type, with surface driving; there are also presented some aspects of the experimental research method; there are exposed the time variation laws of the dynamic actions (of the torsion moment, bending moment and of the axial force/traction force), and of the corresponding stresses, and of the equivalent stress in the mentioned zones of the drilling pipe, in two cases of starting; it is shown the processing method of the dynamic recordings and the results are interpreted. The loadings variability during the rotating motion starting of the drill string proves the existence of a quick propagation process of the creaks initiated in the zones with stress concentrators of the drilling pipe.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ОТНОСНО НАТОВАРВАНИЯ НА СОНДАЖНАТА ТРЪБА В НАЧАЛНАТА ФАЗА НА СОНДАЖНИЯ ПРОЦЕС

Симион Парепа

Университет по петрол и газ, Плоещ, Плоещ 2000, Румъния

РЕЗЮМЕ. Използваната колонкова пробивна сондажна апаратура е съставена от различни сондажни елементи с много голям диаметър. Това прави динамичните моменти и натоварвания важни, особено по време на задвижване на въртящия се механизъм. По тази причина са необходими познания относно натоварванията на сондажната тръба в момента на задвижване на пробивния свредел. Последователно в доклада са изложени резултатите от експериментални изследвания, чрез използване на метода на съпротивителното налягане, относно активните натоварвания (физически въздействия, напрежения) на тялото на сондажна тръба от 10³/и инча и в зоните с концентрация на налягането. Маркирани и анализирани са различни експериментални резултати, получени при използването на вариантни размери и видове сондажни устройства.

Introduction

The rotary-hydraulic drilling process of the mine shafts by using surface rigs is characterized by a dynamic regime (Parepa and Ilias, 2005), determined by the phases: the drill string starting with its idle rotation; the bit landing on the bottom of the shaft with a certain weight; the running in regime during the proper drilling; the bit rise from the bottom and the idle rotation in order to correct the part of the drilled hole by realizing the drilling mud intense circulation in order to eliminate the rock cuttings which load the rollers of the bit. These phases include the appearing of some complex loadings (axial force, torsion moment and bending moment) with variable intensities and having variable time cycles and acting on the drilling pipes. Under the influence of the repeated loadings, transformations with the evolutive disturbances may be produced in the drilling pipe material, which will characterize the fatigue phenomenon. Due to the large inertia moments of the mining drill string elements, the dynamic loadings of the drill pipes are important, especially in the transient periods of the rotating motion, and can accelerate the disturbance process in the areas with stress concentrators (having a technological or constructive nature) by increasing the crack propagation speed until their critical size.

The object of the experimental researches presented in this paper is about the drilling pipes having a nominal diameter of $10\frac{3}{4}$ " (Fig. 1), used for mining shaft drilling with a diameter of 3.62 m by using a drilling rig of F320-3DH-M type. The rotary system of the mentioned rig is made up of two groups of electro-hydrostatic driving, with hydrostatic units having axial plungers, of rotary table, kelly and drill string (see Parepa and Ilias, 2005).

In the frame of this work we are concerning with the first phase of the drilling process, that is the starting phase of the drill string rotating motion.

Experimental recording realization

The experimental researches were developed in the frame of an extensive research program of the mine drilling process (Parepa, 2001; Parepa and Ilias, 2005) and of the dynamic loadings of the drill string of 10³/₄" (Parepa, 2006). They imposed the construction of three loading captors (Parepa, 2006) called CS1, CS2 and CS3, being represented by three drill pipes, one of them having air tubes (CS1, Fig. 1) and the other two without air tubes (CS2 and CS3), equipped with strain gauges protected by special sleeves (Fig. 2).



Fig. 1. Drilling pipe with air tubes: 1 - body; 2 - upper flange; 3 - lower flange; 4 - crenellated support collar; <math>5 - air tube; 6 - centering and torsion moment transmission bolt



Fig. 2. Stress captor assembled in the drill string

By means of these captors, the drill pipe loadings in three zones were recorded (Fig. 1): C – the body zone; FS – the flange shank zone in the close proximity of the welding seam

between it and the collar; G – the drilling pipe body zone in the cup up part of the support collar, in the close proximity of the welding seam between the collar and the drill pipe. In zone C each of the captors has the possibility to measure separately the strain due to the axial force (F), the torsion moment (M_T), the bending moment (M_{Bend}) and the total/complex strain of the drill pipe body.

The strain-measuring chain was made up of loading captors, the binding cables, having large lengths corresponding to the captor emplacement depths inside the drill string, the collector with sliding contacts placed in the upper part of the drill string, and the dynamic recording electronic system (Parepa and Ilias, 2005).

The dynamic measurements were carried out during the drilling of a mine shaft having a diameter of 3.62 m by using 48 drilling pipes (among them 6 drilling pipes were with air tubes, and the others without air tubes), and a depth assembly made up of a bit with multiple rollers of SRM 3600x10³/₄ type, a roller stabilizer of SR 3600x10³/₄ type, and a "drill collar" made up of annular sleeves of cast steel ("doughnut weights") having a diameter of 1.4 m.

Recordings during the drill string starting in two cases were carried out: with a single generator group running in stationary regime and the subsequent starting of the second group, and with the two generator groups being in stationary regime of running. It is stated that a generator group is made from an asynchronous electric motor having its rotor in short-circuit, and a hydrostatic generator with axial plungers.

Experimental results and their analysis

Further, the recordings concerning the loadings of the drilling pipe with air tubes (CS1) assembled on the upper part of the drill string during the starting are presented and analysed.

The external surface of the drill pipe was considered as a plane surface characterized by normal stresses (σ_x and σ_y), tangential stresses (τ_{xy} and τ_{yx}), and by linear strains (ε_x and ε_y) and angular strains (γ_{xy}), depending not only on the measuring point, but on the considered directions. The mathematical expressions used for determination of the main specific deformations ($\varepsilon_{1,2}$), the main normal stresses ($\sigma_{1,2}$), the main tangential stresses $(\tau_{1,2})$ and the angle (φ_1) made up by the main direction with direction x, of the drill pipe axis, as well as the relationships used for calculations of the tensile stress $(\sigma_{\rm F})$, of the bending stress $(\sigma_{\rm Bend})$, of the maximal tangential stress (τ_T), and also the calculation formulas of the tensile force (F), of the bending moment (M_{Bend}), and of the torsion moment (M_T) are those known from the speciality literature. For calculation of the equivalent stress (σ_{Eqv}) in one point of the external surface of the drill pipe body, the theory of the deviation potential energy it was admitted. Calculation programs were made up by using the MATLAB language for processing the recordings.

The analysis of the captor CS1 dynamic responses is further made, separately for the zones C, G and FS.

Zone C

In Fig. 3 the time variation laws of the physical actions (F, M_{Bend} and M_T), and in Fig. 4 the stress (σ_F , σ_{Bend} and σ_{Eqv}) variation laws depending on the same physical size, in case of starting by using both of the generator groups being in stationary regime, in accordance with the recording No. 26 are presented.

It is ascertained that the torsion moment may reach the maximal measure (M_{T.M}), of 75.2 kNm, at the time of 1.52 s, recording great increases (Δ M_T), of {13.3; 12.3; 10.8; 8; 6.9; 4.4}·kNm, in short time ranges (Δ t) of 0.8 s, until the maximal measure. At the time 7.76 s the minimal measure of 2.57 kNm is reached, and at the time of 10.64 s it is considered that the torsion moment is established at the measure (M_{T.st}) 6.93÷7.19 kNm (see Fig. 3). It will result that the maximal dynamic torsion moment (M_{T.d.M}) has a measure of 68.14 kNm, and the maximal dynamicity coefficient, determined by the expression

$$k_{d.M} = \frac{M_{T.M}}{M_{T.st}} = 1 + \frac{M_{T.d.M}}{M_{T.st}},$$
 (1)

has the value 10.65.

The axial force (F) remains practically constant, F=1311 kN, in the range [0; 3.6]·s, it records little oscillations between 1302 kN and 1311 kN, in the range [3.6; 5.6]·s where oscillations of the torsion moment may be observed, then it returns to measures of about 1311 kN in the following range, until the time of 7.12 s. In the period [7.12; 8.96]·s, when the torsion moment has minimal measures, the axial force has two disturbances, recording the maximal measure of 1337 kN (see Fig. 3).

The bending moment (M_{Bend}) has oscillations with measures ranging between -3.47 kNm and +0.32 kNm, in the well-marked variation range of the torsion moment, and higher oscillations between -4.95 kNm and +3.07 kNm, in the range where the torsion moment decreases towards the minimal measure, and then increases to the stabilization measure (see Fig. 3).

According to the Fig. 4, the time variation laws of the tensile stress (σ_F) and the bending stress (σ_{Bend}) have identical shapes to those of the actions determining them. The tensile stress has the average measure of 107.3 MPa, the quadratic average deviation (d σ_F) of 0.548 MPa, the maximal measure of 109.2 MPa and the minimal measure of 106.3 MPa.



Fig. 3. Time variation of the axial/tensile force (F), torsion moment (M_{T}) and bending moment (M_{Bend}) which loads the cross section of the drilling pipe body CS1, during the drill string starting by using both of the generator groups



Fig. 4. Time variation of the axial stress (σ_F), bending stress (σ_{Bend}) and equivalent stress (σ_{Eqv}) in the cross section of the drill pipe body CS1, during the drill string starting by using both of the generator groups

The bending stress is characterized by the average measure of -1.44 MPa, the quadratic average deviation (d σ_{Bend}) of 1.90 MPa, the maximal measure of 2.84 MPa, and the minimal measure -6.31 MPa. The torsion stress (τ_T) has the maximal measure of 50.3 MPa and the minimal measure of 1.72 MPa. Regarding the equivalent stress (σ_{Eqv}) this records the maximal measure of 136.3 MPa at the time of 1.76 s and the minimal measure of 102.4 MPa at the time of 8.16 s from the starting moment. The direction of the main stress (σ_1) will form with the axial direction of the drill pipe the angle ϕ_1 having the average value of 0.133 degrees, the maximal value of 0.383 degrees, and the minimal value of 0.016 degrees.

Other measures of the physical sizes characterizing the loading variations in the cross section of the drilling pipe body CS1 during the drill string starting with both of the generator groups being in stationary regime of running in Table 1 are presented. In this table, were marked with f the physical size, f \in {F, M_T, M_{Bend}, \sigma_F, \tau_T, \sigma_{Bend}, \sigma_1, \sigma_2, \tau_1, \phi_1, \sigma_{ech}}, with f_a - the average measure of f, with f_M - the maximal measure, with f_m - the minimal measure, and with df - the quadratic average deviation of the phisical size (f) measures.

From kinematical point of view, the starting phase is presented by the time variation law of the angular speed (ω_K) of the kelly (see Fig. 5). The angular speed suddenly increases to a maximal measure of 1.563 rad/s, after that decreases to a minimal measure of 0.463 rad/s, at the time of 1.6 s, and increases again, but a little slower, until it is established at a measure of 1.19 rad/s.

In accordance with the recording No. 32, in Fig. 6 the time variation of the equivalent stress in zone C, in the case of drill string starting by means of only one generator group running in stationary regime and the subsequent starting of the second generator group, is presented. It may be noticed that this variation is less marked than that corresponding to the starting with both of the generator groups, which initially are found in stationary running regime (see Fig. 4). In this way, the maximal measure of 120.9 MPa it is reached at a time of 3.4 s that is after a time range of 1.93 times higher than in the previously case. At the time of 10.8 s, after to be set running the second generator group, it is reached the second peak with a measure of 107.6 MPa. The torsion moment has a maximal measure of 48.5 kNm that is with 35.5% lower than the maximal measure of the torsion moment which appears in the first case.

Tabel 1

Measures of the phisical sizes characterizing the loading variation in the cross section of the drilling pipe body CS1 during the drill string starting by using both of the generator groups.

f	F, kN	M⊤, kNm	M _{Bend} , kNm	σ _F , MPa	ττ, MPa	σ _{Bend} , MPa	σ ₁ , MPa	σ ₂ , MPa	τ ₁ , MPa	φ ₁ , degrees	σ _{Eqv} , MPa
fa	1314,1	23,43	-1,08	107,3	15,66	-1,44	109,9	-4,03	56,98	0,133	112,1
fм	1337,3	75,20	3,07	109,2	50,26	2,84	125,4	-0,03	72,52	0,383	136,3
fm	1301,9	2,57	-4,95	106,3	1,72	-6,31	102,3	-20,24	51,17	0,016	102,4
df	6,73	22,75	1,42	0,55	15,20	1,90	5,88	5,98	5,87	0,120	9,07



Fig. 5. Angular speed variation of the kelly (ω_{κ}) during the drill string starting by using the two generator groups



Fig. 6. Time variation of the equivalent stress (σ_{Eqv}) in zone C of the drilling pipe body CS1 in the case of starting of the drill string with a single generator group running in stationary regime and the subsequent starting of the second group

Zone G

In accordance with the recording No. 34, in Fig. 7 the equivalent stress variation in zone G, in case of the starting with a single generator group, initially being in stationary running regime and the subsequent starting of the second generator group, is presented.

A very well-marked variation of the equivalent stress in the recording period of 15.68 s may be observed. The initial measure of the equivalent stress is 84.7 MPa. For a duration of [0: 1.52]'s some oscillations of the equivalent stress with increases of {3: 2: 2: 6: 8: 6} MPa in short time ranges of {0.08: 0.08; 0.08. 016; 0.16} s may be ascertained. After that, other increases of {4.5; 7.0; 7.5} MPa in time ranges of 0.16 s will follow. In the period [1.84; 3.04] s some oscillations having rising amplitudes from 1.5 MPa to 2.5 MPa appear again. At a time of 3.04 s the maximal measure of 132.8 MPa is reached. a measure which is larger with about 12 MPa than the maximal measure of the equivalent stress recorded in the same conditions in the cross section of the drilling pipe body (zone C). After that the maximal measure has been reached the equivalent stress will decrease in the range [3.04; 7.68] s, the minimal measure being 70 MPa at the time of 7.68 s. At the time of 9.6 s, after having been set running the second generator group, the second peak is reached, which is larger about with 20 MPa than the corresponding measure of the equivalent stress recorded in the same conditions in the cross

section of the CS1 drilling pipe body. After that it follows another equivalent stress decrease with stronger oscillations.

Zone FS

The analysis of the stresses in zone FS of the drilling pipe CS1 is carried out only in the case when the drill string starting is made up with a single generator group. So, in Fig. 8 the time variation of the equivalent stress in this zone by processing the recording No. 36 was presented. From the analysis of this diagram the following observations may be drawn out: the equivalent stress variation at starting is less marked, the initial measure being 90.7 MPa, the minimal measure 90.5 MPa, and the maximal measure 112.9 MPa: the maximal measure is reached at the time of 5.6 s; the maximal measure of the equivalent stress is with 8 MPa smaller than the maximal measure of this stress determined in the same conditions in the cross section of the drilling pipe body CS1, and with 20 MPa smaller than the maximal measure of the equivalent stress in zone G in starting state (see the subchapter Zone G); after the equivalent stress decreases at the measure of 91.2 MPa in the range [5.60: 9.84] s. the second increase is recorded, corresponding to setting in running of the second generator group, until the measure of 111.3 MPa, in the time range [9.84; 17.44] s; two periods, having the duration of 9.4 s, of variation of the equivalent stress about of 20 MPa between the approximate measures of 91 MPa and 111 MPa may be ascertained.



Fig. 7. Variation of the equivalent stress (σ_{Eqv}) in zone G of the drilling pipe CS1 in the case of starting with a single generator group being initially in stationary regime of running and the subsequent starting of the second group



Fig. 8. Time variation of the equivalent stress(σ_{Eqv}) in zone FS of the drilling pipe CS1 in the case of starting of the drill string with a single generator group running in stationary regime and the subsequent starting of the second group

Conclusions

The drilling process of the mining shafts is characterized by more phases, among them being the starting phase of the drill string rotating motion which has an important part regarding the pipe dynamic loadings. The real complex loading of the drilling pipes of $10\frac{3}{4}$ " (in the body zone – zone C – and in zones with stress concentrators – zones G and FS), during the drill string starting was determined in an experimental way, by using the stress-resistive method. The experimental research method of the dynamic loadings (of the actions and dynamic stresses) of the drilling pipes of $10\frac{3}{4}$ ", as a concrete realization

method, represented a new achievement. Its application implied the construction of some loading captors and of some devices, among them being mentioned the collector with sliding contacts, which allowed the electric signal transmission from the measure points finding on the drilling pipe in rotating motion to the electronic apparatus necessary for their processing and recording.

The dynamic loading analysis of the drilling pipe body CS1 (zone C), at the drill string starting in the two cases (with both of the generator groups being in stabilized regime of running idle running - and with a single generator group in idle running regime and the subsequent starting of the second group) emphasizes a series of conclusions which are further exposed. So, in the case of starting by using a single generator group and the subsequent starting of the second group, the drill string loading is smaller, the maximal measure of the torsion moment being with 35.5% smaller than the maximal measure of the torsion moment which appears in the case of starting with both of the generator groups. Further, from point of view of the dynamic loadings, the drill string starting must be carried out with a single generator group, and the subsequent starting of the second group. The maximal torsion moment, which loads the drilling pipe CS1 in case of starting of the drill string with both of the generator groups, has the measure of 75.2 kNm, from which 90.6% represents the measure of the dynamic moment corresponding to a maximal dynamicity coefficient having a high value and namely 10.65. In accordance with the design conditions, the maximal measure of the torsion moment, which loads the drilling pipes of 10³/₄", is limited to 78.5 kNm, when the maximal axial running load is of 150 tf (1471.5 kN). If we take into account the fact that the axial force recorded in the moment when it was reaching the maximal measure of the torsion moment was only of 1311 kN, it will result that it is possible the exceeding of the torsion moment maximal measure imposed by the designer when the load from the hook reaches the maximal measure of running. Taking into account the maximal measure of the equivalent stress resulted in the time when the starting by means of two generator groups is recorded, for the tensile yield stress of the material of which the drilling pipe body is made up a safety coefficient of 3.74 is obtained.

The analysis of the stress state of the drilling pipe CS1 in zone G, carried out only in the case of the drill string starting by means of a single generator group and the subsequent starting of the second one, it may be shown that this zone with stress concentrators, represented by passing from the flange collar to the drill pipe body and joining with lateral and frontal welding of the two elements, is characterized by equivalent stresses with higher measures, at least with 10% than those appearing in the cross section of the drilling pipe body (zone C) and by far wellmarked oscillations. The direct gauging of the loading captors displayed (according to Parepa, 2006) the existence of some pre-tension state in zone G. This pre-tension state influences the stresses due to the actions during the drilling, and has an important role in yielding of the fatigue phenomenon. So, it is demonstrated that zone G makes up a dangerous zone of the drilling pipe from point of view of the equivalent stress and of its variability, a zone which is favorable to the appearance of fatigue disturbances, especially because this represents, with a great likelihood, the place of crack nucleation. Also, the dynamic equivalent stress variation during the starting hastens the disturbance process in this zone, by making greater the crack propagation speed, as it was ascertained during the measurements. In this way, after about 16 hours, how much the measurements – realized in different conditions (of drilling with different regimes, of starting of the drill string, and of its idle running etc.) – lasted, and after the bringing out of the drill string a penetrated macro-crack in the terminal zone of the lateral welding between the support collar and the drilling pipe body, on the base of a crenellation, was observed (see Fig. 9).



Fig. 9. View of a zone with penetrated macro-crack on the drilling pipe without air tubes, with series 122.

From the analysis of the stress state in the zone FS of the drilling pipe CS1, may be seen that the butt seam welding between the flange neck and the crenellated collar takes part effectively to taking over of the loads, although it is not realized in this purpose (see Parepa, 2006), but it may be considered that this zone, having stress concentrators, represents a less dangerous one for appearance of fatigue disturbance even than the drilling pipe body, in the conditions when the technology of the welding realization is respected. This thing is due to the larger section of the flange neck and due to better technological conditions for the welding realization.

References

- Parepa, S. 2001. Experimental researches regarding the dynamics of the mine shafts drilling process. "Universitaria ROPET 2001" International Symposium, University of Petroşani. Vol. 1, Mining Engineering, Editura Focus, Petroşani, 105-108. (In Romanian)
- Parepa, S., Iliaş, N. 2005. Experimental researches regarding the drilling process of the mine shafts by means of surface installations. Annual of University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski" – Sofia. Vol. 48, Part II: Mining and Mineral Processing, Publishing House "St. Ivan Rilski", Sofia, 47-52.
- Parepa, S. 2006. Researches regarding the captor realization for the study of the dynamic loading of the 10³/₄" drilling string for mine drilling. 15th International Conference on Manufacturing Systems – ICMaS 2006, University POLITEHNICA of Bucharest.

Recommended for publication by Department of

Drilling and Oil and Gas Production, Faculty of Geology and Prospecting

CHARACTERISTICS OF THE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STRUCTURE OF THE PANAGYURISHTE ORE REGION ACCORDING TO GEOMAGNETIC DATA

Radi Radichev, Stephan Dimovski

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

ABSTRACT. Analysis and interpretation of magnetic field in scale 1:100000 are performed for the investigation of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte ore region.

The magnetic susceptibility of the rocks that are composing the Panagyurishte ore region changes in a large interval – from practically non-magnetic members of the gneisses and the granodiorites, up to the high-magnetic gabbro that has a magnetic susceptibility of 7500.10⁻⁶ SI. This good differentiation is a precondition for the effective utilization of data connected to the geomagnetic field distribution.

The observed geomagnetic field in the territory under study is highly differentiated. This is reflecting the non-uniform according to magnetic properties near-surface geological section. The anomalies have relatively small range and high amplitudes. In order to perform quantitative interpretation, upward continuations of the geomagnetic field are computed at heights of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 km.

The calculated upward continuations are showing that most of the anomalies are quickly diminishing. The rocks characterized by increased magnetic susceptibility, presented by the volcanic complex and the gabbro, are mapped without ambiguity by positive anomalies on the distribution schemes for levels up to about 2 km. The granitoids and the metamorphic complex rocks are outlined by low values for the geomagnetic field.

The results from the quantitative interpretation of the well-pronounced relatively local anomalies show that the average depths toward the centers of the magnetic masses causing the respective anomalies have values varying in the range from 0.2 km down to about 1.0 km.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧНИЯ СТРОЕЖ НА ПАНАГЮРСКИ РУДЕН РАЙОН ПО ГЕОМАГНИТНИ ДАННИ

Ради Радичев, Стефан Димовски

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

РЕЗЮМЕ. За изследване на геолого-геофизичния строеж на Панагюрския руден район е извършен анализ и интерпретация на магнитното поле в мащаб 1:100000.

Магнитната възприемчивост на скалите, изграждащи Централното Средногорие варира в широки граници – от практически немагнитни представители на гнайсите и гранодиоритите до високомагнитно габро, за което магнитната възприемчивост достига 7500.10-6 SI. Тази добра диференциация е предпоставка за ефективно използване на данните за разпределението на геомагнитното поле.

Наблюдаваното геомагнитно поле за изследваната територия е силно диференцирано Това отразява нееднородния по магнитни свойства приповърхностен геоложки разрез. Аномалиите имат сравнително малък обхват и големи амплитуди. За целите на количествената интерпретация е извършено аналитично продължение на геомагнитното поле в горното полупространство на височини 1, 2, 3, 4, 5 и 6 км. За нивата до около 2 km еднозначно се отделят с позитивни аномалии скалите с повишена магнитна възприемчивост, представени от вулканогенния комплекс и габро. Гранитоидите и скалите на метаморфния комплекс се картират с ниски стойности на геомагнитното поле.

Резултатите от количествената интерпретация на добре оформените относително локални аномалии показват, че са средните дълбочини до центъра на магнитоактивните маси, формиращи съответните аномалии са в границите от 0.2 до около 1.0 km.

Introduction

Analysis and interpretation of the geomagnetic field in scale 1:100000 are performed for the investigation of the geological-geophysical structure of the Panagyurishte ore region. The territory under study includes 5427 km². It is aligned in N-S direction and has a rectangular shape with dimensions 67 x 81 km.

The compound analysis and the component distinction of the magnetic field are performed by the utilization of selected transforms. For the recalculation are applied traditional methods (Baranov, 1975; Telford et al., 1990; $Maz\muumopa3ed\kappa a$, 1980, etc.). The quantitative interpretation

is performed along selected profiles by the application of the selection and regularization method (Ставрев, Радичев, 1990). The obtained results are presented as schemes and as sections along selected profiles.

The summarized data (Raditchev et al., 1999; 2002, etc.) for the magnetic susceptibility of the rocks that are composing the Panagyurishte ore region are presented in Table 1.

The magnetic susceptibility of the rocks that are composing the Panagyurishte ore region changes in a large interval - from practically non-magnetic members of the gneisses and the granodiorites, up to the high-magnetic gabbro that has a magnetic susceptibility of 7500.10⁻⁶ SI. Table 1. Summarized data for the magnetic susceptibility æ (in units SI) of the rocks, composing the Panagyurishte ore region

Age	Facies	Type of rocks	æ [10 ⁻⁶ SI] 0 1000 2000 3000 4000 5000
	e al)	Diorites	
	Intrusiv (abyssa	Gabbro	
		Monazites	
	ភ្ល	Granodiorites	
snoë	poabyss	Diorite - , quartz-diorites - and granodiorite - porphyrites	
etace	ΗÂ	Quartz-monazite-diorites	-
ber Cr		Andesites	
npi	Volcanic	Andesite tuffs	
		Andesite tufaceous breccia	
		Basaltic andesites	-
		Dacites	
		Dacite tufaceous breccia	
Palaeozoic	Intrusive	Granitoids	

A low magnetic susceptibility is characteristic for the granodiorites of the hypoabyssal complex – $æ_{av} = 240.10^{-6}$ SI. Low to middle values for the average magnetic susceptibility have the dacites of the volcanic facies – $æ_{av} = 1900.10^{-6}$ SI and the diorites of the intrusive facies – $æ_{av} = 1300.10^{-6}$ SI. In the three facieses one can observe rock types characterized by relatively high magnetic susceptibility: the porphyrites of the hypoabyssal complex – $æ_{av} = 4800.10^{-6}$ SI, the andesites of the volcanic facies – $æ_{av} = 5600.10^{-6}$ SI, and the gabbro of the intrusive facies – $æ_{av} = 5600.10^{-6}$ SI. The basaltic andesites are characterized by increased magnetic susceptibility – $æ_{av} = 4600.10^{-6}$ SI.

The practically non-magnetic members of the metamorphic complex and the granodiorites, as well as the relatively increased magnetic susceptibility values of the rocks belonging to the volcanogenic complex have dominant influence in the formation of the geomagnetic field in the Panagyurishte ore region.

Estimating the magnetic susceptibility of the ore deposits, one should take into account the fact that beside the

preliminary conditions for the formation of the magmatic rocks, a considerable influence over the changes of the magnetic susceptibility have also the secondary hydrothermal processes. They lead to the formation of new ferromagnetic minerals or to the destruction of existing ferromagnetic ones. The analysis shows that for the conditions of the Panagyurishte ore region the dominating process is the destruction of existing ferromagnetic minerals and respectively the formation of less magnetic ones.

Analysis and interpretation of the geomagnetic field

As it is well known, if compared to the observed gravitational field, the observed geomagnetic field has the physicalmathematical sense of a first derivative and respectively is reflecting smaller depths of the geologic-geophysical section. The performed upward continuation is suppressing the local anomalies and is revealing in a slightly deformed shape the relatively regional components. It has to be mentioned that the idea of "local" and "regional" components is in a high degree relative. In this sense it is useful to utilize a set of different upward continuation schemes and like this to be able to follow the magnetic field distribution changes and the character of the reflected peculiarities of the geologic-geophysical structure.

For the geomagnetic field are performed upward continuations at heights 1, 2, 3, 4, 5 and 6 km.

The observed geomagnetic field in the territory under study (Fig. 1) is highly differentiated. This is reflecting the nonuniform according to magnetic properties near-surface geological section. The anomalies have relatively small range and high amplitudes.



Fig. 1. Scheme of the geomagnetic field vertical component ΔZ distribution (in nT), the position of the studied lines and a rose-diagram of the field isolines orientation

The calculated upward continuations are showing that most of the anomalies are quickly diminishing. This is well illustrated by the presented field distribution schemes compiled from the upward continuations at heights H=1 km (Fig. 2) and H=3 km (Fig. 4).

The analysis of the geomagnetic field distribution, taking into account the geologic map and the rocks magnetic susceptibility (Table 1), is showing that the positive magnetic anomalies are mapping the predominant presence of rocks of the volcanogenic complex in the geological section.

In Figure 3 are illustrated the main positive and negative anomalies pronounced on the geomagnetic field distribution scheme compiled from the upward continuation at height H=1 km.

The expansive negative anomaly 1n and the occupying a limited area negative anomaly 2n are mapping the Srednogorie anticlinorium granitoids. In the western part of the studied territory the negative anomalies 3n and 4n are connected to the metamorphic complex.



Fig. 2. Scheme of the geomagnetic field vertical component ΔZ upward continuation at height H=1 km (in nT) and location of the main ore deposits and ore mineralizations



Fig. 3. Zoning of the geomagnetic field vertical component ΔZ distribution, compiled from the upward continuation at height H=1 km and location of the main ore deposits and ore mrienalizations

The vast positive anomaly 1p in the southern portion of the area (outside the boundaries of the Panagyurishte ore region) is caused by the Srednogorie neointrusions. The set of positive anomalies 2p, 3p, 4p, 5p, 6p, 7p and 8p is reflecting without ambiguity the influence of the volcanogenic complex rocks characterized by an increased magnetic susceptibility.

In Figure 5 are illustrated the results from the quantitative interpretation of the well-pronounced relatively local anomalies. Presented are the average depths toward the centers of the magnetic masses causing the respective anomalies. These depths have values varying in the range from 0,2 km down to about 1,0 km.



Fig. 4. Scheme of the geomagnetic field vertical component ΔZ upward continuation at height H = 3 km (in nT) and location of the main ore deposits and ore mineralizations



Fig. 5. Scheme of the main local geomagnetic anomalies in the Panagyurishte ore region and depths (in kilometers) toward the centers of the anomaly-forming magnetic masses



Fig. 6. Geomagnetic field distributions along profile I-II (see Fig. 1) compiled from the upward continuations at heights 0, 1, and 3 km; distribution of the observed gravitational field (1), variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km (2) and downward continuation to depth H=1 km (3); geologic-geophysical model along the profile



Fig. 7. Magnetic field distributions along profile III-IV (see Fig. 1) compiled from the upward continuations at heights 0, 1, 3 and 6 km; distribution of the observed gravitational field (1), variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km (2) and downward continuation to depth H=1 km (3); geologic-geophysical model along the profile

Along the profiles I-II and III-IV (see Fig. 1) is illustrated the distribution of the geomagnetic field vertical component ΔZ on different levels and the distribution of selected gravitational fields. Quantitative interpretation is performed, according to average residual values for the magnetic susceptibility. The obtained geologic-geophysical models of the sections along the lines are illustrated in Figure 6 and Figure 7.

Only one anomaly is registered along profile I-II (Fig. 6). It diminishes relatively slowly. The anomaly amplitude decreases from 175 nT for the observed geomagnetic field down to 25 nT for the upward continuation at height H = 6 km. This fact is revealing the considerable depth of the anomaly-forming masses presented by the rocks of the volcanic complex.

The analyzed geomagnetic field distribution along profile III-IV (Fig. 7) is highly differentiated on levels up to about 2 km and flattens quickly on higher levels. On levels above 3 km it reflects only the regional gradient of the Srednogorie magnetic minimum that is mapping the Srednogorie anticlinorium granitoids. The rocks characterized by increased magnetic susceptibility, presented by the volcanic complex, are mapped without ambiguity by positive anomalies on the distribution schemes for levels up to about 2 km. The granitoids and the metamorphic complex rocks are outlined by low values for the geomagnetic field.

The compound analysis of the obtained results shows that the studied area is situated over a highly differentiated geomagnetic field. Only in the north-eastern part of the region is well-distinguished a vast area of relatively undisturbed field, characterized by negative values for the geomagnetic field vertical component ΔZ . This zone is reflecting the granitoids of the Srednogorie anticlinorium. In the periphery of this territory is well-expressed the metallogenic complex, having increased magnetic susceptibility. The complex fault tectonics and the processes of hydrothermal metamorphism also have substantial influence over the composite mosaic picture of the geomagnetic field distribution in the studied region.

The results, obtained from the performed qualitative and quantitative analysis and interpretation of the geomagnetic field in the Panagyurishte ore region prove the prospects for the application of geophysical methods for mapping in a horizontal plane. When the geophysical field reveals a complex morphology, it is befitting to utilize proper transforms. It is also possible to perform a correct estimation of the depth distribution of geological formations, i.e. mapping in a vertical plane. That is very important for the geological mapping, and especially for the goals of the exploration studies.

Conclusions

The analysis and interpretation of the Panagyurishte ore region geomagnetic field in scale 1:100000 gives reason for the following conclusions:

• The magnetic susceptibility of the rocks that are composing the Panagyurishte ore region changes in a large interval. The practically non-magnetic members of the metamorphic complex and the granodiorites, as well as the relatively increased magnetic susceptibility values of the rocks belonging to the volcanogenic complex have dominant influence in the formation of the geomagnetic field in the studied area.

• The observed geomagnetic field in the territory under study is highly differentiated. This is reflecting the non-uniform according to magnetic properties near-surface geological section. The anomalies have relatively small range and high amplitudes.

• In order to perform quantitative interpretation, upward continuations of the geomagnetic field are computed at heights of 1, 2, 3, 4, 5 and 6 km. The rocks characterized by increased magnetic susceptibility, presented by the volcanic complex, are mapped without ambiguity by positive anomalies on the distribution schemes for levels up to about 2 km.

• The results from the quantitative interpretation of the well-pronounced relatively local anomalies show that the average depths toward the centers of the magnetic masses causing the respective anomalies have values varying in the range from 0,2 km down to about 1,0 km..

References

Магниторазведка. Справочник геофизика. 1980. М., Недра, 386 с.

Recommended for publication by Department of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting

- Ставрев, П., Р. Радичев. 1990. Система моделей и программ для интерпретации магнитных и гравитационных аномалий. – В: 35-тый Международный геофизический симпозиум, Варна, 1990, т. III, 569-577.
- Baranov W. 1975. *Potential Fields and Their Transformations in Applied Geophysics*. Gebruder Borntraeger, Berlin -Stuttgart, 141 p.
- Popov, P., R. Raditchev, S. Dimovski. 2001. Geology and evolution of the Elatsite-Chelopech porphyry coppermassive sulphide ore field. – Ann. Univ. Mining and Geology, 44, part I, 31-43.
- Radichev, R., S. Dimovski, M. Tokmakchieva. 1999. Modelling of gravity and magnetic anomalies for the conditions of the Panagurishte ore region. *Bulg. Geophys. J.*, *25*, 1-4, 135-149.
- Radichev, R., S. Dimovski, M. Tokmakchieva. 2002. Modelling of gravity and magnetic anomalies for copper deposits in the Central Srednogorie Region. Минно дело и геология, 3-4, 55-60.
- Telford, W., L. Geldart, R. Sheriff, D. Keys. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 843 p.

CHARACTERISTICS OF THE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STRUCTURE OF THE PANAGYURISHTE ORE REGION ACCORDING TO GRAVITATIONAL DATA

Radi Radichev, Stephan Dimovski

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

ABSTRACT. Analysis and interpretation of gravitational field in scale 1:100000 are performed for the investigation of the geological and geophysical structure of the Panagyurishte ore region.

The density of the different petrography types varies in a very wide range – from 2.53 up to 3.02 g/cm³, creating in such a way a good precondition for the effective utilization of data connected to the gravitational field distribution.

The compound analysis and the component characteristics of the gravitational field are performed on the base of the observed field Bouguer anomalies and the following transforms: upward continuations at heights from 1 km up to 10 km, with a step of 1 km; calculation of average values for circle radii R = 3, 5, 10 and 15 km; calculation of the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circles of radii R = 1, 3, 5 and 10 km; downward continuations to depths 1, 2 and 3 km.

The compound analysis and interpretation of the Panagyurishte ore region gravitational field gives reason for the following conclusions: the territory under study is situated in a regional gradient field that is including the western part of the Srednogorie gravity minimum; the ore deposits and the ore showings are located along the gradient transitions of the gravity minimum; in the depth interval down to about 5-10 km by predominant influence are characterized the metamorphic complex having increased density (positive anomalies) and the granitoids and the rocks of the volcanic complex having relatively decreased density (negative anomalies); in the depth interval down to about 3 km important influence has also the additional destruction of the rocks connected to the ore-forming processes.

ХАРАКТЕРИСТИКА НА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧНИЯ СТРОЕЖ НА ПАНАГЮРСКИ РУДЕН РАЙОН ПО ГРАВИТАЦИОННИ ДАННИ

Ради Радичев, Стефан Димовски

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

РЕЗЮМЕ. За изследване на геолого-геофизичния строеж на Панагюрския руден район е извършен анализ и интерпретация на гравитационното поле в мащаб 1:100000.

Разпределението на плътността на петрографските видове е в много широк диапазон – от 2.53 до 3.02 g/cm³, което е основна предпоставка за ефективно използване на данните за разпределението на гравитационното поле.

Общият анализ и компонентната характеристика на полето на силата на тежестта са извършени въз основа на наблюдаваното поле в аномалии Буге и следните преобразования: аналитично продължение в горното полупространство на височина от 1 до 10 km със стъпка 1 km; аритметично усредняване с радиус 3, 5, 10 и 15 km; изчисляване на вариационните аномалии по метода на Андреев-Грифин с радиус 1, 3, 5 и 10 km; аналитично продължение в долното полупространство на дълбочина 1, 2 и 3 km.

Комплексната интерпретация на гравитационните данни дава основание да се направят следните основни изводи: изследваната територия се разполага върху регионално градиентно поле, което обхваща западната част на Панагюрския гравитационен минимум; рудните находища и рудопроявленията се разполагат по градиентните преходи на гравитационния минимум; в дълбочинния интервал до 5-10 km основно отражение намира разпределението на метаморфния комплекс с повишена плътност (позитивни аномалии) и гранитоидите и скалите от вулканския комплекс с относително понижена плътност (негативни аномалии); за дълбочинния интервал до около 3 km съществено влияние оказва и допълнителното разуплътняване на скалите, свързано с рудообразователните процеси.

Introduction

Analysis and interpretation of the gravitational field in scale 1:100000 are performed for the investigation of the geologic-geophysical structure of the Panagyurishte ore region. The territory under study includes 5427 km². It is aligned in N-S direction and has a rectangular shape with dimensions 67 x 81 km.

The position of the studied area is illustrated on the map of the depths towards the Moho boundary (Fig. 1).

The Panagyurishte ore region is situated in a zone characterized by depths towards the Moho boundary in the range of about 38-40 km and by a relatively small gradient of variation of these depths.

The thermal field characteristics for the studied territory are illustrated by the distribution scheme on level – 300 m, shown in Figure 2 (Velinov and Boyadzhieva, 1981). The Panagyurishte ore region is located into an elongated in NW-SE direction positive thermal zone, with temperature values along the line Popintsi-Panagyurishte-Assarel in the range of 30-35°.



Fig. 1. Map of the depths (in kilometers) towards the Moho boundary (Boykova , 1999) and position of the studied area.

The compound analysis and the component distinction of the gravitational field are performed by the utilization of selected transforms. For the recalculation are applied traditional methods (Baranov, 1975; Telford et al., 1990; Гравиразведка, 1981, etc.). The quantitative interpretation is performed along selected profiles by the application of the selection and regularization method (Ставрев, Радичев, 1990). The obtained results are presented as schemes and as sections along selected profiles.



Fig. 2. Scheme of the thermal field distribution (in $^{\rm o}{\rm C})$ on level - 300 m. (Velinov and Boyadzhieva, 1981)

The summarized data (Raditchev et al., 1999; 2002, etc.) for the density and the magnetic susceptibility of the rocks that are composing the Panagyurishte ore region are presented in Table 1. The density distribution for the different petrography types varies in a very wide range – from 2,53 up to 3,02 g/cm³. There is a considerable overlapping of the possible density variation boundaries for the different rock types, but nevertheless, one can observe a relatively well-expressed differentiation according to the average values of this parameter. A decreased value of the density is characteristic for the dacites and the dacite tufaceous breccia of the volcanic complex, that have an average density of 2,55-2,56 g/cm³.

The monazite-diorites are separated by a higher value for the average density -2,71 g/cm³. For the granodiorites and the porphyrites of the hypoabyssal complex, as well as for the andesites of the volcanic facies, the average density is 2,61-2,64 g/cm³. The basaltic andesites are characterized by a relatively high density – the average value of the parameter is 2,76 g/cm³. The rocks of the intrusive facies can be separated by their increased density values, as the average density for the diorites is 2,78 g/cm³ and for the gabbro – 2,92 g/cm³. For the gneisses of the metamorphic facies is characteristic a relatively higher density – average value of 2,71 g/cm³, if compared towards the rocks of the volcanic and the hypoabyssal facies.

The metasomatic changes have regular influence over the density of the hypoabyssal and the volcanic rocks. The process of propylitization in the volcanic rocks is connected with an increased content of chlorite, epidot, albite, pyrite and calcite. These are minerals with relatively high density, which, for example, is up to 3,50 g/cm³ for the epidot. Respectively, the propylitization leads to a relative increase of the density. The processes of sericitization and of potassium feldspatization and biotitization are leading to a relative decrease in the density of the subvolcanic rocks.

Analysis and interpretation of the gravitational field

The compound analysis and the component characteristics of the gravitational field are performed on the base of the observed field Bouguer anomalies and the following transforms:

- upward continuations at heights from 1 km up to 10 km, with a step of 1 km;

- calculation of average values for circle radii R = 3, 5, 10 and 15 km;

- calculation of the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circles of radii R = 1, 3, 5 and 10 km;

- downward continuations to depths 1, 2 and 3 km.

According to their morphological peculiarities and the carried information, the obtained transformed fields can be systematized in two groups :

- relatively regional fields - the upward continuations and the fields of average values for different circle radii;

- relatively local fields – the residual fields derived from the upward continuations and the fields of average values for different circle radii, as well as the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circles of different radii and the downward continuations.

	S	Type of rocks	ρ [g/cm ³]				
Age	Facie		2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 3,0 				
	re al)	Diorites					
	trusiv byss	Gabbro					
	ln (a	Monazites					
	a	Granodiorites					
snoe	poabyss	Diorite - , quartz-diorites and granodiorite-porphyrites					
retace	Ŧ	Quartz-monazite-diorites					
ber Ci		Andesites					
Id N		Andesite tuffs					
	anic	Andesite tufaceous breccia					
	Volc	Basaltic andesites					
		Dacites					
		Dacite tufaceous breccia					
Palaeozoic	Intrusive	Granitoids					

Table 1. Summarized data for the density ρ (in g/cm³) of the rocks, composing the Panagyurishte ore region



Fig. 3. Scheme of the Bouguer anomalies (in mGal) of the observed gravitational field, the position of the studied lines and a rose-diagram of the field isolines orientation.

The scheme of the Bouguer anomalies of the observed gravitational field (Fig. 3) is characterized by a negative background of about -40 mGal and by some pronounced positive and negative anomalies. The background and the anomalies are well-distinguished on the transformed fields.

The regional fields reflecting the depth structure of under about 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 km respectively (the upward continuations and the fields of average values for different circle radii) are showing that the territory under study is including the western part of the Srednogorie gravity minimum and the north-western part of the Maritsa gravity transition. The gradient of these fields increases regularly with the decrease of the depths. In Figure 4 is illustrated the scheme of the regional gravity field distribution, derived from the upward continuation at height H=10 km, which is reflecting the main elements of all regional fields. The compound analysis of the regional fields gives reason to be accepted without ambiguity that the gravity minimum is mapping the granite core of the Srednogorie anticlinorium. The ore deposits and the ore showings are located along the gradient transitions of the gravity minimum. This is the reason to be assumed that in the contact area between the solid granitoids and the host rocks is formed a zone having relatively higher permeability

and that the magma intrusion during the Cretaceous period took place along channels located in this zone. It is entirely possible that these channels are a reflection of a common magmata centre.



Fig. 4. Scheme of the regional gravity field distribution (in mGal), derived from the upward continuation at height H=10 km and location of the main ore deposits and ore showings.

The residual gravitational fields derived from the upward continuations at heights from 1 km up to 10 km, with a step of 1 km, the residual gravitational fields derived from the calculation of average values for circle radii R = 3, 5, 10 and 15 km, as well as the gravitational fields variation anomalies distributions compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circles of radii R = 1, 3, 5 and 10 km are used for the study of the density non-uniformities distribution in the geological section with accents on different depths down to about 10 km. The basic elements of all these schemes are one and the same.

In Figure 5 is illustrated the scheme of the gravitational fields variation anomalies distribution compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R = 10 km. In Figure 6 are shown the main positive and negative anomalies pronounced not only on the above-mentioned scheme, but also on the residual gravitational fields derived from the upward continuations and from the calculation of average values for different circle radii.

Taking into account the geologic map and the rocks physical characteristics, a compound analysis of these schemes is performed and the main sources causing the gravity anomalies are distinguished. In the depth interval down to about 10 km by predominant influence are characterized the metamorphic complex having increased density (positive anomalies) and the granitoids and the rocks of the volcanic complex having relatively decreased density (negative anomalies).

In the complex structure of the Panagyurishte ore region the predominant influence of each one of the complexes is pronounced very well (Fig. 6). The vast positive anomaly 1p in the southern part of the scheme (outside the boundaries of the Panagyurishte ore region) is striking NW-SE and is mapping the complex influence of the metamorphic complex and the Srednogorie neointrusions that have relatively increased density.



Fig. 5. Scheme of the gravitational fields variation anomalies distribution (in mGal), compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km and location of the main ore deposits and ore showings. Included is a rose-diagram of the field isolines orientation.



Fig. 6. Scheme of the gravitational field distribution zoning, reflecting the influence of the density non-uniformities in the depth interval down to about 10 km and location of the main ore deposits and ore showings

The positive anomalies 2p, 3p, 4p, 5p and 6p are reflecting without ambiguity the influence of the metamorphic complex in the areas where it is characterized by a bigger thickness.

The negative anomalies 1n and 2n are mapping the granitoids of the Srednogorie anticlinorium. The negative anomalies 3n, 4n and 5n are revealing the areas characterized by a bigger thickness of the volcanic complex having relatively decreased density.

In Figure 7 is illustrated the scheme of the gravitational field downward continuation which is reflecting the density nonuniformities distribution down to about 3 km. In this depth interval additional influence are causing the ore-forming processes that normally contribute for the local destruction of the host rocks. That is the main reason for the well-pronounced negative anomalies near Tsar Assen, Popintsi, Assarel and Chelopech.



Fig. 7. Scheme of the gravitational field downward continuation to depth H=3 km and location of the main ore deposits and ore showings. Included is a rose-diagram of the field isolines orientation

Along selected profiles on the gravitational map is performed quantitative interpretation. It shows that the metamorphites which are causing the positive anomalies have residual density +(0,2-0,3) g/cm³.

Along the profiles I-II and III-IV (see Fig. 3) is illustrated the distribution of the geomagnetic field vertical component ΔZ and the distribution of selected gravitational fields. Quantitative interpretation is performed, according to average residual densities. The obtained geologic-geophysical models of the sections along the lines are illustrated in Figure 8 and Figure 9.

Along profile I-II (Fig. 8) the regional gravitational field is showing stable behaviour having values around -18 mGal. The observed gravitational field and the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km, respectively, differ insignificantly and both show a slightly negative trend towards the end of the

profile. For the variation anomalies the decrease in the values is about 20 mGal. This negative trend is probably connected to the hydrothermal processes that are causing destruction of the host rocks. The field distribution of the downward continuation to depth H=1 km is very well differentiated. The composed geologic-geophysical model reflects the local influence of the low density Quaternary depositions and the effect of the metamorphic complex, characterized by high density.



Fig. 8. Distribution of the geomagnetic field vertical component ΔZ ; distribution of the observed gravitational field (1), the upward continuation at height H=10 km (2), the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km (3) and the downward continuation to depth H=1 km (4) along profile I-II (see Fig. 3); geologic-geophysical model along the profile.

Along profile III-IV (Fig. 9) the regional gravitational field is characterized by a linear negative trend towards the end of the profile having values from about –11 mGal down to about –22 mGal. This trend is reflecting the transition towards the regional Srednogorie gravity minimum that is mapping the Srednogorie anticlinorium granitoids. The observed gravitational field and the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km, respectively, differ insignificantly with the observed field reflecting the regional linear background. The field

distribution of the downward continuation to depth H=1 km is very well differentiated. The composed geologic-geophysical model reflects the local influence of the metamorphic complex, characterized by high density.



Fig. 9. Distribution of the geomagnetic field vertical component ΔZ ; distribution of the observed gravitational field (1), the upward continuation at height H=10 km (2), the variation anomalies compiled from the centre-point and ring method of Griffin using circle of radius R=10 km (3) and the downward continuation to depth H=1 km (4) along profile III-IV (see Fig. 3); geological-geophysical model along the profile

The compound analysis of the obtained results is showing that the territory under study is situated in a regional gradient field that is including the western part of the Srednogorie gravity minimum. In the depth interval down to 5-10 km predominant influence has the distribution of the granitoids and the metamorphic complex, both having increased density (positive anomalies) and the rocks of the volcanic complex characterized by relatively decreased density (negative anomalies). In the depth interval down to about 3 km important influence has also the additional destruction of the rocks connected to the hydrothermal processes.

Conclusions

The compound analysis and interpretation of the Panagyurishte ore region gravitational field in scale 1:100000 gives reason for the following conclusions:

Recommended for publication by Department of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting • The territory under study is situated in a regional gradient field that is including the western part of the Srednogorie gravity minimum. Most probably the granite core of the Srednogorie anticlinorium causes this minimum. The gradient of the regional fields increases regularly with the decrease of the depths.

• The ore deposits and the ore showings are located along the gradient transitions of the gravity minimum. This is the reason to be assumed that in the contact area between the solid granitoids and the host rocks is formed a zone having relatively higher permeability and that the magma intrusion during the Cretaceous period took place along channels located in this zone. It is entirely possible that these channels are a reflection of a common magmata centre.

• In the depth interval down to about 5-10 km by predominant influence are characterized the metamorphic complex having increased density (positive anomalies) and the granitoids and the rocks of the volcanic complex having relatively decreased density (negative anomalies).

• In the depth interval down to about 3 km important influence has also the additional destruction of the rocks connected to the ore-forming processes. This is an important precondition for developing a technique based on the analytical downward continuations of the gravitational field that will help the outlining of the Central Srednogorie ore fields.

References

Гравиразведка. Справочник геофизика. 1981. М., Недра, 398 стр.

- Ставрев, П., Р. Радичев. 1990. Система моделей и программ для интерпретации магнитных и гравитационных аномалий. В: *35-тый Международный геофизический симпозиум*, Варна, 1990, т. III, 569-577.
- Baranov W. 1975. Potential Fields and their Transformations in Applied Geophysics. Gebruder Borntraeger, Berlin -Stuttgart, 141 p.
- Popov, P., R. Raditchev, S.Dimovski. 2001. Geology and evolution of the Elatsite-Chelopech porphyry coppermassive sulphide ore field. – *Annual of the University of Mining and Geology*, 43-44, part I, 31-43.
- Radichev, R., S. Dimovski, M. Tokmakchieva. 1999. Modelling of gravity and magnetic anomalies for the conditions of the Panagurishte ore region. – *Bulg. Geophys. J.*, 25, 1-4, 135-149.
- Radichev, R., S. Dimovski, M. Tokmakchieva. 2002. Modelling of gravity and magnetic anomalies for copper deposits in the Central Srednogorie Region. Минно дело и геология, 3-4, 55-60.
- Telford W., L. Geldart, R. Sheriff, D. Keys. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 843 p.

NATURAL HAZARDS AND EARLY WARNING SYSTEMS

Boyko Ranguelov¹, Atanas Georgiev¹, Edelways Spassov²

¹Geophysical Institute, BAS, Sofia 1113; boyko.ranguelov@geophys.bas.bg ²Kinemetrix, Pasadena, USA

ABSTRACT. Several classifications about the different natural hazards and their possible influence are constructed. The possible early warning systems are considered. Both topics are under investigations due to the many factors influencing these issues. The natural hazards are classified on the basis of their area coverage, power (intensities and/or magnitudes), destructive potential and other physical properties like time duration, medium where they occurred, etc. The reliability, effectiveness and the possibilities of the data collection, transfer and warning issues are considered about the recent early warning systems. Critical analysis is made concerning the physical properties, modeling abilities, transfer velocity, etc. The critical points of the warning systems are outlined. It is shown that many factors are influencing these activities and the reliable early warnings for the different hazards are still under development.

ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ И СИСТЕМИ ЗА РАННО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Бойко Рангелов¹, Атанас Георгиев¹, Еделвайс Спасов²

¹Геофизичен институт, БАН, София 1113; boyko.ranguelov@geophys.bas.bg ²Кинеметрикс, Пасадена, САЩ

РЕЗЮМЕ. Предложени са няколко класификации на различни природни опасности, както и за системи за ранно предупреждение от тях. Изследванията са продиктувани от многофакторния, комплексен характер на проблемите свързани с тях. Природните бедствия са класифицирани според тяхната сила, разрушителен потенциал, физически свойства и средата в която се случват, както и по време на продължителност. Отчетени са надеждността, ефективността, възможностите за събиране и обработка на данните, моделирането на развитието на процесите и други важни параметри на възможните предупредителни системи, като скорост на предаване на данни и решения, начини за достигане на информацията до населението и управляващите институции и др. Отбелязани са критичните моменти в различните възможни ситуации. Показано е, че поради сложността на тези дейности, изграждането на надеждни системи за ранно предупреждение все още се намира в стадии на изследване и развитие.

Introduction

The recent development of the technology and the fast information transfer is the main basis of the development and implementation of the early warning systems (EWS) about different natural hazards. Since several decades the early warning systems considering different hazardous phenomena have been developed in different countries on global, regional and local scale. They are based on the physical properties, destructive potential and better organization oo the information dissemination to the decision makers, specialized institutions and population. During the last years, sophisticated satellites are following the forest fires and floods development, desertification, droughts spreading, etc. All these distant methods have been developed in close cooperation with the surface observations and monitoring. During the last years (especially after the destructive Sumatra tsunami in the Indian ocean, 2004) large actions and funding have been targeted to the GEOS (Global Earth Observing System). They are focusing on multipurpose targets - continuous monitoring, fast data exchange, easy accessibility of the end users. New experiments of establishing regional and local early warning systems targeting to the increased reliability to relatively fast processes and phenomena - tsunamis, earthquakes, flash floods, volcanic gas and lava eruptions, etc. are under system (PTEWS) (established in the early 60-ties with headquarters located at Hawaii), the first experiences have been collected. The observations, modeling (travel time calculations, the locations of the strong, powerful tsunamigenic earthquakes) and the fast and reliable warnings dissemination have been launched among the priorities of that system. After that, the positioned stationary satellites have been launched on orbits and the meteorological phenomena get in focus of the everyday practice of the meteorological forecast. Then branching systems about the typhoons and hurricanes prediction and their development and modeling, going trough the tornadoes generation and consequences and the expected storms (hails, snow or rain), etc., have been established und used by the institutions. In this way the meteorological prediction systems are the most successful and wildly used in the practice during the last years. During the last times satellites and land based recent systems started operation to the volcanic continuous observations. With some successful eruption predicted these technologies are used as well as about the different mass movements observations, modeling and forecast - landslides, avalanches, slope processes and mining activities and consequences, etc. The recent technology transfer and fast development of the communication technologies put new challenges to all existing.

development. Staring with the Pacific tsunami early warning

new established and newly developing early warning systems. The main aims of this paper are to investigate and formulate the possible effectiveness, reliability and possible fast transfer to the end users. The both sides of this phenomenon are considered: The early warning system as the physical basis of the used parameters for higher reliability from one side and the compromise between fast alerts and reliability on the other. Some classification are developed investigating the possibilities of the recent technologies to cover the need for fast and reliable early warnings in the different fields of the natural hazards and risks to the population. This is really important due to the possibilities to safe people's life and properties.

Classifications of the natural hazards

In general several natural hazards have been under consideration:

Solid Earths' events like: Forest fires (FF), Earthquakes (E), Volcanic eruptions (V), Subsidence and collapse (S+C), Landslides (including most of the slope processes, like mud flows, rock slides, etc.) – (L), Avalanches (A); Hydrosphere events like: Floods (including flash floods) – (F), Tsunamis (T);

Atmospheric (meteorology) events like: Storms (including rain, snow and hail) – (S), Frost and Icing (F+I), Strong Winds (SW) – (including tornadoes, typhoons, hurricanes).

Table 1

Classifications of the natural hazards according the possible time duration (TD), possible time of early warnings, level of sudden appearance and the reliability of the early warnings

Hazards/	Е	L	V	S+C	F	Т	S	I+F	SW	FF	А
Parameters											
Possible time	0-10 ¹	10^{0} -	10 ² -	0-10 ¹	10 ² -	10 ¹ -	10 ² -	10 ² -	10 ² -	$10^2 - 10^3$	0-10 ³
EW(min.)	(aft.)	10^{3}	10^{5}		10 ³	10 ²	103-4	10 ³	104		
TD(min.)	10-1-	10 ¹ -	10 ² -	10^{0} - 10^{2}	10 ² -	10 ¹ -	10 ² -	10 ² -	10 ¹ -	$10^2 - 10^4$	10-1-
	10 ¹	10^{4}	105-6		104	10 ³	104	104	10 ³		10 ¹
Level of sudden	Н	H-M	М	Н	M-L	М	M-L	L	H-M	L	Н
appearance											
Reliability EW	L	L-M	L-M	L	M-H	M-H	Н	Н	Н	L-M	L

Time dependency is another aspect of the reliability and classifications - the velocity of the process and the data (information) and warning transfer trough the channels of communication is essential. The duration of the single or multiple hazardous events is also a specific characteristic of the different natural dangers and a new and useful classification is proposed. It includes - the time duration, the level of sudden appearance of the natural hazards (like a measure of the predictability), the possible time and the reliability of the early warning in minutes. - Table.1. (Ranguelov, 2006). All data in the Table 1 are in minutes. Level of sudden appearance and the reliability of the early warnings are presented qualitatively. L - means low, M - middle and H - high. The different diapasons are also acceptable. For example the time prediction of the earthquakes are not possible, but for the aftershocks (the strongest one) is rather common. For some phenomena (especially in the solid earth) level of sudden appearance is high, for others - the predictability based on the process development is very high (for example in atmosphere and hydrosphere).

Potential reliability of the EWS

The reliability is assessed on the recent knowledge of the physics of the process and possible measurements and assessment of its future development. Most of the systems are looking for some direct expressions as precursors of the generated natural hazard (for example clouds configuration and air velocity for the hurricanes). Some are considering non direct relationships (for example underwater strong earthquakes as generators of tsunamis). Most of the existing systems are modeling the possible dynamics of the expected or developing hazardous events. So the reliability is a complex multiparametric function of many factors acting in different directions. The most important are:

The physical properties the hazardous event – power, magnitude, intensity, space position, etc. These are measurable parameters thus suggesting that's why the accuracy of the measurements is essential. The transfer of data and information is another essential element, because the velocity of this process influences a lot the effectiveness. The models used and the parameters included in them are influencing direct or not direct spreading and distribution of the dangerous elements and parameters of the hazardous event. Frequently different approximations are used to decrease the computing time.

The transfer of the information of any kind – from the measurements sensors to the data collecting centers from one side is essential. Then to obtain reliable information about the development of the phenomena and to predict its development in time and space is not an easier task using primary information or through the models. The transfer to the decision makers and the warning information dissemination to the public and end users is the most important (and one of the most difficult) task on the other side.

The information transfer considerations

The data and information transfer may use some recent facilities: satellites, radio links, cell networks, telephone lines. The data used by the early warning systems usually are signals generated by the sensors in the frequency diapason

0.001–100 Hz. The high dynamic range is around 120 dB. These signals could be transferred by analog or digital channel.



Fig. 1. The transfer of the data and information for the early warning system is an essential element

Usually the analog signal has low amplitude and needs some measures and devices to provide its reliable transfer like magnifiers, filters and compensators, etc. There are cable networks in use to transfer the data into the information centers for data processing. The disadvantages of such networks are the high price of the transfer and the larger losses of the useful part of the signals. There are as well the transfer networks using the telephone cables. They need a modular frequency (500 to 2500 Hz) to modulate the signal.

These networks have also some disadvantages - high noise ratio, vulnerability to the different construction works, high price cables, etc. All analogue channels have the biggest advantage - they allow the real time analog signals transfer. The digital networks (even the most sophisticated) work in the near real time mode. The digital technology goes fast in all recent systems. The advantages of this technology are much more the digital signals are reliable to the noise protection, the data transfer and processing are much easier using the recent computer technologies, the data storage is much more effective. The low prices and the wide use of the digital technologies make them leaders in the recent early warning systems. In many cases the analogue channels are eliminated by the high density information channels compressed even in a single cable doublet. The telephone companies introduce the digital technology and increase the security and reliability levels of their transferred signals. The recent cellular networks are also suitable for the signal and information transfer. Such type transfer networks are related to the radio links. The price is lower, but the special regime of use needs more administration and formalities, like retranslations, heavy problems connected with the sharp relief, etc. A variant of the radio links is the satellite connection. After the big numbers of geostationary satellites have been launched to orbit they build up a network which is largely used about the telemetry of the geophysical and meteorological data. The satellites on Low Earth Orbit (700-1400 km) are called LEO, on the medium (10000-15000 km) - MEO and on the Geostationary (36000 km) - GEO. All these satellite systems created the global communication ring, which is under operation for different purposes. To use it as an element of the early warning systems is the main challenge of the recent times.

Existing and near future early warning systems

The differences between the recent and near future early warning systems are the two heavy and slower blocks presented on the scheme - Fig. 2. - the processed information - transfer and the end users and decision maker's solutions. They could be eliminated by the simplest, but most powerful software and hardware able to decrease the false alarms using the triggering mechanism and intelligent sensors, which may provide more reliable information and take decisions about the early warning dissemination automatically. The philosophy about the recent and the near future systems shows that it could be possible to eliminate the slower and less effective blocks concerning the transfer of the processed information and the end users and decision maker's solutions - to be or not to be issued the early warning. This task could be reach by the more sophisticated software, supperfast computing abilities and the "smart" location of the sensors.

Near real time early warning systems in use are about: Meteorological events (for hurricanes, tornadoes, other meteorological events), Tsunamis (PTEWS), Volcanoes (for example Hawaii, Vesuvius, Reunion, Azores networks, etc.) and show relatively reliable exploitation.



Fig. 2. A comparative scheme of the present day and the near future early warning systems (arrows way)

The use of the "smart" sensors, which are able to "take and perform " the decision, the sophisticated software, which is able to prove the reliability of the warning issue and the fastest recent digital technologies are the main elements which could provide the highest reliability of the near future early warning systems. The main problem in this competition is to save time. The fastest communications can win against the velocity of the natural hazards. This could be reach by recent technologies and better software.

Conclusions

The methodology concerning some natural hazards and the possible early warning systems application is developed in general terms. The selection of the natural hazards under recent observation and future development of the early warning systems is made on the principal physical and geophysical considerations. The most perspective are to the: tsunamis, floods, strong winds, volcanic eruptions, etc. The effectiveness of the early warnings is taken into consideration. The main parameters defining the effectiveness are the velocity of the process, the velocity of the data and information transfer, the organization of the early warning issue and the transfer of the reliable information to the public. Two ways are described. The established EWS existing up to now and the recent new established and near future EWS. The use of the recent technologies in all aspects of the information collection, processing transfer and dissemination appears essential. The main issue is considered the possibilities to save time due to the fast recent technologies for the information collection, data transfer and warning issues.

Recommended for publication by Department of Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting

References

Рангелов, Б. 2006. Оценка на последиците от природни бедствия. – *Минно дело и геология*, 2, 29-32. http://www.msnbc.msn.com/

LEACHING OF GOLD FROM A POLYMETALLIC SULPHIDE ORE

Irena Spasova¹, Marina Nicolova¹, Françesco Veglio², Stoyan Groudev¹

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

²Department of Chemistry, Engineering Chemistry and Materials, University of L'Aquila, L'Aquila, Italy

ABSTRACT. A heap consisting of 5 tons of a rich-in-pyrite copper sulphide ore containing also gold and silver finely disseminated in pyrite and arsenopyrite was leached by means of a mixed culture of acidophilic chemolithotrophic bacteria to solubilize copper and to liberate the precious metals from the sulphide matrix. 70.1% of the copper was leached from the ore within 8 months. The degree of sulphide oxidation at the end of this period reached about 59%. The copper was precipitated from the pregnant heap effluents by cementation with metallic iron. The pretreated ore was washed by water and then was leached by means of alkaline solutions containing amino acids of microbial origin and thiosulphate to solubilize gold and silver. 79.4% of the gold and 59.4% of the silver were leached in this way within 30 days. The pregnant heap effluents were treated by cementation with metallic zinc to precipitate the precious metals as mixed gold-silver concentrates. The waste waters from the different technological stages were treated by means of a constructed wetland located near the heap.

ИЗВЛИЧАНЕ НА ЗЛАТО ОТ ПОЛИМЕТАЛНА СУЛФИДНА РУДА

Ирена Спасова¹, Марина Николова¹, Франческо Вильо², Стоян Грудев ¹Минно геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700

²Катедра Химия, инженерна химия и материали, Университет на Аквила, Аквила, Италия

РЕЗЮМЕ. Халда, състояща се от 5 тона богата на пирит медна руда, съдържаща също злато и сребро фино впръснати в пирит и арсенопирит, бе излужена посредством смесена култура на ацидофилни хемолитотрофни бактерии, за да се разтвори медта и да се освободят благородните метали от сулфидната матрица. 70,1% от медта бе излужена от рудата за осем месеца. Степента на окисление на сулфидите в края на този период достигна около 59%. Тази предварително окислена руда бе промита с вода, след което бе излужена посредством алкални разтвори, съдържащи аминокиселини от микробен произход и тиосулфат, за да разтворят златото и среброто. 79.4% от златото и 59.4% от среброто бяха излужени по този начин за 30 дни. Набогатените на тези метали разтвори, изтичащи от халдата, бяха обработени чрез циментация с метален цинк (Zn°), за да се утаят благородните метали като смесени златно-сребърни концентрати. Отпадните води от различните технологични етапи бяха третирани посредством конструирано мочурище, разлоложено в близост до халдата.

Introduction

The bacterial pretreatment of gold-bearing sulphide ores is an expanding technology, which has been applied in commercial-scale in several countries (Bonney, 2000; Potts, 2001; Gilbertson, 2004).

The pretreatment is achieved by means of acidophilic chemolithotrophic bacteria, which oxidize the gold-bearing sulphide minerals, mainly pyrite and arsenopyrite, and liberate the gold from the sulphide matrix. The liberated gold is then leached by different chemical reagents, mainly by cyanides. However, the cyanides are highly toxic reagents and, regardless of the presence of several technologies for their efficient degradation, the gold cyanidation is connected with sophisticated and expensive measures to avoid substantial environmental problems. For that reason, at present a great attention is paid to non-toxic reagents, which are able to solubilize gold. A very efficient leaching of gold from different mineral raw materials has been achieved by means of solutions containing amino acids of microbial origin and thiosulphate ions as gold-complexing agents (Groudev and Groudeva, 1993; Groudev, 1996; Groudev et al., 1996, Spasova and Groudev, 1996).

In this study a rich-in-pyrite copper sulphide ore containing gold encapsulated in sulphide minerals was initially treated by means of acidophilic chemolithotrophic bacteria to leach the copper and to liberate the gold. The ore then was leached by solutions containing microbial amino acids and thiosolphate.

Materials and Methods

Data about the chemical and mineralogical composition of the ore used in this study are shown in Table 1. Chalcopyrite was the main copper-bearing mineral in the ore but secondary copper sulphides such as covellite and bornite were also present. The ore was rich in pyrite and the total content of sulphides was about 10 %. Most of the gold was finely disseminated in pyrite and arsenopyrite. The main portion of the gold particles was less than 1 micron. Quartz was the main mineral of the host rock. Clay minerals and oxidation products (mainly jarosites) were also detected.

Table 1

Data about the chemical and mineralogical analysis of the ore used in this study

Component	Content	Component	Content	
Copper	0.80%	Silver	8.2 g/t	
Total sulphur	4.1%	Gold	4.6 g/t	
Sulphide sulphur	3.7%	Gold phases (in %		
Iron	6.0%	from the total gold		
Sulphide		content):		
minerals:				
- pyrite	7.0%	Free gold	2.4%	
- arsenopyrite	1.0%	Gold encapsulated	10.7%	
		in iron hydroxides		
		and oxidies		
- chalcopyrite	1.0%	Gold finely	84.2%	
		disseminated in		
		sulphides		
- bornite	0.5%	Gold finely	2.7%	
		disseminated in		
		silicates		
Other sulphides	0.5%	Total	100%	

The treatment of the ore was carried out by the heap technique. The heap had the shape of a truncated pyramid and was constructed on a slightly steep ground cover by a corrosion-resistant cement to facilitate the collection and to prevent the seepage of solutions. The heap contained 5 tons of ore crushed to minus 10 mm. A system of perforated PVC pipes was installed inside the heap during its construction. The open ends of these pipes stick out outside the ore mass to facilitate the natural aeration of the heap. Solutions containing chemolithotrophic bacteria, iron ions (mainly in the trivalent state), some essential nutrients (mainly ammonium and phosphate ions), sulphuric acid and dissolved oxygen were used to leach copper and to liberate the gold from the sulphide matrix. The solutions were recycled through the heap at a rate of 100 l/ton ore per 24 h. The pregnant heap effluents were treated by cementation with metallic iron (Fe⁰) when their copper content exceeded 500 mg/l. The cementation was carried out in reactors with mechanical stirring using fine iron shavings to precipitate the copper. The pH of the recycled solutions was maintained at values lower than 2.5 by addition of sulphuric acid, and the redox potential (Eh) was maintained at values higher than 500 mV by oxidation of the ferrous ions to the ferric state in a BACFOX unit (Groudev et al., 1984). (NH₄)₂SO₄ and KH₂PO₄ were added to produce concentrations of the NH4⁺ and H₂PO4⁻ ions of about 200 and 50 mg/l, respectively. The progress of the bacterial oxidation was followed by analysis of the circulating solution for ferrous, ferric and total iron species, copper and sulphate ions, pH, Eh, and number of the iron-oxidizing chemolithotrophic bacteria.

After the sulphide oxidation and the copper leaching the ore was washed with fresh water and then treated with solutions containing microbial protein hydrolysate -1.0 g/l, thiosulphate ions (added as ammonium thiosulphate) -15 g/l, copper ions (added as copper sulphate) -0.5 g/l and sulphite ions -0.5 g/l. The pH of the solutions was maintained in the range of 9.5 - 10.0 by addition of ammonia. The protein hydrolysate was a mixture consisting of protein hydrolysates from waste biomass of three different microbial species. The hydrolisates contained

different gold-complexing amino acids and were mixed together in suitable proportions.

The leach solutions were pumped to the top of the heap at a rate of 200 l/ton ore per 24 h. The solutions percolated through the ore mass and dissolved gold and silver. The heap effluents were collected in a collector pond and then were pumped to a stirred reactor where the dissolved precious metals were precipitated by means of cementation reactions with metallic zinc (Zn⁰). The depleted solutions from the cementation 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.

The waste waters from the copper and then from the gold leaching stages were treated by means of a constructed wetland located near the heap. The wetland was characterized by an abundant water and emergent vegetation and a diverse microflora. *Typha latifolia* and *Typha angustifolia* were the prevalent plant species in the wetland but representatives of the genera *Juncus*, *Potamogeton*, *Carex* and *Poa* as well as different algae were also present.

Elemental analysis of the ore samples was performed by digestion and measurement of the ion concentration in solution by atomic adsorption spectrometry and induced coupled plasma spectrometry. Gold and silver were determined also by means of the fire assays. These spectrometrical methods were also used to analyses the liquid samples. The amino acid concentrations were determined by an amino acid analyzer. The thiosulphate ions were determined titrimetrically with iodine.

The isolation, identification and enumeration of microorganisms were carried out by methods described elsewhere (Karavaiko et al., 1988; Groudev, 1990). The activity in situ in the heap of the acidophilic chemolithotrophic bacteria was determined by following the rates of ferrous ions oxidation and ¹⁴CO₂ fixation in samples of heap effluents as well as in 9K nutrient medium (Silverman and Lundgren, 1959) inoculated with freshly collected ore samples. The samples were cultivated in the heaps at the different climatic seasons (Spasova et al., 2005).

Results and Discussion

The treatment of the ore by means of the acidophilic chemolithotrophic bacteria was very efficient. Within a few days following initiation of the treatment, the heap was densely populated with such bacteria. *Acidithiobacillus ferrooxidans* and *Leptospirillum ferrooxidans* were the prevalent microorganisms in the leach system. The total number of these bacteria in the circulating solutions was higher than 10⁸ cells/ml. However, most of these bacteria were firmly attached to the ore and their number exceeded 10⁹ cells/g ore in the upper heap layers. *Acidithiobacillus thiooxidans* and some acidophilic heterotrophic bacteria (mainly such related to the genus *Acidiphilium*) were also present but in lower numbers. The bacterial activity in situ was very high and markedly depended on the temperature inside the heap which was higher during the warm summer months (Table 2).

Table 2

Bacterial activity in situ at different temperatures

Sample tested	Fe ²⁺	¹⁴ CO ₂ fixed for
	oxidized for	5 days,
	5 days,	counts/min.ml
	g/l	(g)
Heap effluents with pH of		
2.1-2.4 + Fe ²⁺ (9 gl) at 6–9 °C	0.55 - 2.30	1500 - 7700
Heap effluents with pH of 2.1-		
2.4 + Fe²+ (9 g/l) at 12–18 ∘C	1.43 - 6.84	4100 - 20100
Ore suspensions in 9K nutrient medium (with 9 g/l Fe ²⁺ and pH of 2.5) at 6–9 °C	0,59 - 2.75	1500 - 8800
Ore suspensions in 9K nutrient		
medium (with 9 g/l Fe ²⁺ and pH of 2.5) at 12–18 °C	1.36 - 7.74	4100 - 24200

70.1% of the cooper was leached from the ore within 8 months of treatment (from the beginning of March to the end of October) (Fig. 1). The treatment of the copper-bearing pregnant heap effluents by cementation was also efficient and the obtained cement copper concentrates contained about 80 – 82 % copper. The consumption of metallic iron during the cementation amounted to about 2.0–2.5 kg iron/g copper.



Fig. 1. Leaching of copper (1) and degree of sulphide oxidation (2) during the treatment by means of chemolithotrophic bacteria

The content of sulphide sulphur in the ore at the end of the period of cooper leaching was lowered to 2.18% and this reflected a degree of sulphide oxidation of about 59%. Preliminary experiments in small percolation columns (with 10 kg of ore each) revealed that this degree of sulphide oxidation was sufficient to liberate most of the gold from the sulphide matrix. This was probably due to the fact that in the gold-bearing sulphides in the ore the gold was located mainly in the deffect sites of their crystal lattices and these sites were preferentially attacked by the chemolithotrophic bacteria (Lazer et al., 1986). During the above-mentioned preliminary experiments it was found that the gold extraction from such pretreated ore samples exceeded 85%, while the extraction from the original, non-pretreated ore was less than 20%.

Control experiments carried out in such columns using cyanide-bearing leach solutions revealed that the gold and silver extractions were similar to those obtained by the combined chemico-biological method used in this study. The subsequent leaching of precious metals from the pretreated ore heap was also efficient (Fig. 2). The number of undesired microbial contaminants in the leach system was low due to its relatively high pH. The number of chemolithotrophic bacteria growing at the expense of the thiosulphate (mainly such related to the species *Thiobacillus thioparus*) as well as the heterotrophs growing at the expense of the amino acids in the leach solutions were than 10² cells/ml each of these two groups of microorganisms.



Fig. 2. Leaching of precious from the pretreated ore

The degree of extraction of the precious metals from the pregnant solutions by cementation with Zn^0 was higher than 97 %. The products from the cementation were mixed gold-silver concentrates, which contained also copper and zinc as valuable components. These concentrates are amenable to processing by the well-known conventional methods for recovering pure gold and silver.

The consumption of reagents during the leaching and cementation of the precious metals amounted to 5.1 kg ammonium thiosulphate, 0.28 kg protein hydrolysate, 0.9 kg copper sulphate and 0.15 kg metallic zinc per ton of ore.

Regardless of the fact that the waste waters from the copper and gold leaching stages differed considerably, these both types of water were cleaned up efficiently by the constructed wetland. The waste waters from the copper leaching stage were acidic, with a very low organic content and contained iron, copper, arsenic and sulphate ions as the main pollutants. The waste waters from the gold leaching stage were alkaline, with a higher organic content and contained different sulphurbearing ions as the main pollutants. These waters also contained some dissolved heavy metals (mainly copper and zinc) but in relatively low concentrations. The both types of water contained fine solid particles.

The removal of the above-mentioned pollutants in the constructed wetland was due to different processes. The ions of the heavy metals and arsenic were precipitated mainly as the relevant sulphides by the hydrogen sulphide produced by the anaerobic sulphate-reducing bacteria. However, portions of iron and manganese were precipitated as $Fe(OH)_3$ and MnO_2 after the prior bacterial oxidation of the Fe^{2+} and Mn^{2+} ions, respectively. Some arsenic was removed as a result of its sorption by the iron hydroxides. The different sulphur-bearing ions were transformed to sulphates, which then were reduced

to hydrogen sulphide. Portions of the metal and arsenic ions were adsorbed by the plant and microbial biomass and by the clay minerals present in the wetland. The dissolved organic compounds (mainly residual amino acids and secreted microbial and plant metabolites) were degraded by the heterotrophic microorganisms. The non-dissolved solids were removed mainly by sorption but also by bioagglomeration carried out by secreted microbial metabolites. As a result of the above-mentioned processes, the wetland effluents possessed the qualities of the waters intended for use in the agriculture and/or industry.

The results from this study showed that the consecutive leaching of copper and precious metals from rich-in-pyrite ores by means to microorganisms and non-toxic reagents is technically feasible and environmentally safe way to process such ores.

Acknowledgements. A part of this work was financially supported by the National Fund "Scientific Research" under the project CENBIOHEALTH.

References

- Bonney, C. F. 2000. The Use of Microorganisms in the Minerals and Metals Industries. Mineral Industry Research Organisation (MIRO), Technical Review Series № 6, 3, 1995-2000.
- Gilbertson, B. 2004. Creating value through innovation; *Biotechnology in mining*, BHP Billiton, 11 p.
- Groudev, S. N. 1990. *Microbial Transformations of Mineral Raw Materials*. Doctor of Biological Sciences Thesis, University of Mining and Geology, Sofia.

Recommended for publication by Department of Engineering Geoecology, Faculty of Geology and Prospecting

- Groudev, S. N. 1996. Microbial leaching of gold from oxide ores. – In: *Hydrometallurgy* (Ed. Z. Zivkovic). Univ. of Belgrade, Technical Faculty of Bor, Bor, Yugoslavia, 33-40.
- Groudev, S. N., V. I. Groudeva. 1993. Biohydrometallurgy of gold: present day status and future prospects. – In: *Preprints of the XVIIIth International Mineral Processing Congress*, Sydney, May 23-28, 1993, 1385-1387.
- Groudev, S. N., V. I. Groudeva, D. J. Mochev, F. N. Genchev. 1984. Bacterial production of lixiviant for solution mining. – In: *Proceedings of the 12th World Mining Congress,* New Delhi, November 1984, Round Table III, 3.02.01-3.02.10.
- Groudev, S. N., I. I. Spasova, I. M. Ivanov. 1996. Two-stage microbial leaching of a refractory gold-bearing pyrite ore. *Minerals Engineering*, 9, 707-713.
- Karavaiko, G. I., G. Rossi, A. D. Agate, S. N. Groudev, Z. A. Avakyan, Eds. 1988. *Biogeotechnology of Metals. Manual.* Center for International Projects GKNT, Moscow, 350 p.
- Lazer, M.J., M.J. Southwood and A.J. Southwood. 1986. The release of refractory gold from sulphide minerals during bacterial leaching. – In: *Gold 100, Proceedings of the International Conference on Gold.* SAIMM, Johannesburg, vol. 2, 287-297.
- Potts, A. 2001. Profitable bugs. *Mining Magazine*, September, 128-134.
- Silverman, M. P., D. G. Lundgren. 1959. Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An impoved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields.). – *J. Bacteriol.*, 77, 642-647.
- Spasova, I. I., S. N. Groudev. 1996. Microbial leaching of a refractory pyrite/arsenopyrite gold-bearing concentrate. *Mineralia Slovaca, 28,* 368-370.
- Spasova, I. I., M. V. Nicolova and S. N. Groudev. 2005. Biotechnological treatment of a polymetallic sulphide ore. – In: *Mineral Processing in Sustainable Development* (Ed. Fetahu, K. et al.). Polytechic University, Tirana, 749 p.

125 ГОДИНИ БЪЛГАРСКА ГЕОЛОГИЯ (1880-2005) И 80 ГОДИНИ БЪЛГАРСКО ГЕОЛОГИЧЕСКО ДРУЖЕСТВО (1925-2005)

Милорад Вацев

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

Геологията – науката за планетата Земя, води началото си от човешкия опит, опознаване и изследване на скалите и минералите от околната среда и използването им за нуждите на човека. Утвърдено правило е, че всички знания получени от изучаването на Земята и земната кора, се използват от човека за откриването на находища на полезни минерални суровини (изкопаеми) и топлинна енергия в недрата, изясняването на стабилни условия за строителство, обезпечаването на възможност да се предвидят опасности, свързани с подвижните сили на динамичната развиващата се Земя, които могат да бъдат опасни за благосъстоянието или съществуването на хората. Всичко това, предопределя необходимостта от придобиването на системни и задълбочени геоложки знания и умения за използването на минералните суровини, скалите, водите, геоложките забележителности, околната среда и тяхното опазване.

Практически, развитието на геоложките изследвания и на геологията като наука, са били винаги тясно свързани с етапите на обществено-икономическото развитие. Българите имат многовековна история по отношение на познания и умения за добив и използване на разнообразни минерални суровини, още преди да се заселят на Балканския полуостров. Същото може да се каже и за другите народи, населяващи преди това нашите земи. Целенасочени геоложки изследвания в съответствие с разработени и възприети изисквания в геологията стратиграфия, тектоника и минерални суровини – в земите на Балканския полуостров започват през 19-и век. Увеличаващото се индустриално производство в западноевропейските страни и съпътстващите го кризисни събития и епохи, са предопределили нарастващата нужда от минерални и енергийни суровини, евтина работна ръка, пазари и възможности за транспорт на суровини и продукция. В това отношение, страните от Балканския полуостров, намиращи се тогава под османско владичество и разположени сравнително близко до Западна Европа, са представлявали особен интерес. В тях през първата половина на XIX век са се настанили търговци от Англия, Франция, а по-късно и от Австрия. Това предопределя и засиления интерес към геологията и полезните изкопаеми в района.

Първи етап – 1828-1878 г. Геоложкият строеж на районите от България и Балканския полуостров, е бил непознат до началото на 19-и век. За първи път наличните данни, посочени от посетители и пътешественици, са събрани, обобщени и отпечатани през 1828 г. от френския геолог Ами Буе – Ami (Amedee) Boue. Това събитие се приема за началото на геоложката книжнина за България. Буе е и първият чуждестранен геолог, извършил геоложки изследвания в райони от България и Балканския полуостров. Резултатите от тези маршрутни изследвания, представляващи една геоложка скица и синтез на събраните данни, са публикувани през 1840 г. Същият е съставил и геоложка карта в М 1:2500000 на Балканския полуостров (Европейска Турция), отпечатана през 1842 г., като са използвани материали и от други изследователи. Работите на Ами Буе са достойно оценявани от българските геолози.

През втората половина на 19-и век фирми от Англия, Франция и Австрия са били особено активни в районите от Балканския полуостров и общо в Османската империя. Интересът към минералните суровини в нея в това число и в района на Балканския полуостров, е бил особено важен въпрос и през 1869 г. са приети специални права и правилник за мините.

През този етап в българските райони са работили редица европейски геолози. Техните работи, както отбелязват някои от авторите и както личи от публикациите, са били насочени към минералните суровини и инженерногеоложки въпроси, но публикуваните материали допринасят за разширяването на геоложката изученост на райони от България. В това отношение, пропускайки редица автори, ще бъдат посочени работите на А. Викенел (A. Viquesnel), поставил началото на изучаването на Родопския район и Черноморието, и обобщителният научен характер на някои работи на Ф. фон Хохщетер (F. von Hochstetter), който е съставил и отпечатал геоложка карта в М 1:3000000 (1870).

През разглеждания етап българското образование, наука и българското национално развитие имат също свои достижения и напредък, но тук ще бъдат отбелязани само няколко събития и достижения. Тогава, българското образование се развива, осъвременява и поставя на нови основи. Пример в това отношение е добре познатата книга "Рибният буквар", съставен от известния д-р Петър Берон, отпечатан през 1824 г. и преиздаван многократно. Това учебно пособие, тази детска книга е написана на говорим български език и е с енциклопедичен характер, със светско съдържание и със светска възпитателна насоченост, отбелязани от много учители и анализатори. В това направление трябва да се посочи и учебника по "Естествена история за първо запознаване с естеството", който съдържа раздел "Минералогия", издаден през 1869 г. (съставен е по записки на видния възрожденски деец Д. Мутев от издателя Д. Манчов).

Научната дейност на д-р Петър Берон (1800-1871 г.) е била многостранна, енциклопедична, отразена в повече от 20 научни труда, отпечатани на над 10000 страници, издадени в страни от Западна Европа, където той е живял и работил, но малко познати у нас. Тук е уместно и правилно да се отбележи, че неговите виждания, относно вселената и Слънчевата система, са базирани на Кант-Лапласовата хипотеза и на достиженията на редица изследователи и философи от миналото и тогавашното време. Той разглежда тяхното формиране и развитие в хронологичен ред и подход. Според неговите "натурфилософски" възгледи, основата на света са материалните елементи, частици, "флуиди", възникнали от първичен "флуид". Той е допускал, че флуидите се намират в непрекъснат процес на изменение и комбиниране, което по същество е историята на вселената. Той отхвърля идеята за крайността на вселената и ограничеността на нейното движение. Според него Слънцето, Земята и другите планети са произлезли от вещество, което днес не съществува в слънчевата система. Тази система е претърпяла промени, тя не всякога е била такава, каквато ние сега сетивно я възприемаме. Той както и други автори, отбелязва и периодичността в развитието на слънчевите петна. Берон винаги търси и изучава причините за процесите, явленията и измененията. Неговите схващания, интерпретации и анализи са базирани на широка научна основа, но не са винаги цялостно и пълно обосновани, анализирани и систематизирани от съвременна гледна точка (виж Бъчварова и Бъчваров, 1975; и др.). Тук не са изложени и анализирани посочените негови мисли, схващания, убеждения и обосновки, но ще се отбележи следното. По своята същност, много от тях са близки и сходни с някои становища и положения от философското и научно ядро, не само на тогавашните хипотези и обосновки за образуването на Слънчевата система, но и с такива на акреционните теории, разработвани и усъвършенствани непрекъснато през втората половина на 20-и и началото на 21-и век.

През 1869 г. малка група от просветени и знаещи българи, са учредили Българското книжовно дружество в Браила, Румъния. Това в поробената тогава България при господстващите феодално-османски разпоредби, е било невъзможно. В неговият устав е посочена целта, завета, това дружество "да се превърне в действителна Българска академия наук и да стане един от най-великолепните храмове на българската наука". Въпреки трудностите тогава, редица българи със своите познания, умения, средства и труд, са участвали активно при въвеждането на индустриално производство по нашите земи. Българската възрожденска нация е предявила по категоричен начин, своите претенции за самостоятелно развитие.

Втори етап – 1878-1918 г. Този етап започва от освобождението на България от турско робство през 1878 г. и се характеризира със съществено развитие на геоложките изследвания в България. Те са провеждани вече от български геолози, но у нас са работили и чужденци. Началото на този българския етап, се свързва трайно с името на Георги Златарски (1854-1909), който през 1880 г. е назначен за геолог-минералог при Министерството на финансите със задача "да проучва минералните богатства на страната и да изучи нейния геоложки строеж". Прието е, това събитие и дейността на Златарски, да бележат началото на българската геология, разработвана по-късно от редица български специалисти и поколения.

Бързото развитие на индустриалното производство и селското стопанството в освободена България, е предопределило геоложките проучвания да са насочени, преди всичко към минералните суровини. Френският инженер Л. Тонар (L. Thonard) по покана на Българското правителство, е направил преглед и изложение за минералните суровини в България, а данните за тях са публикувани през 1886 г. Във връзка с това и първата работа на Златарски е книгата "Рудите в България", отпечатана през 1882 г. и маркираща началото на българската геоложка литература. Следват негови работи от поредицата "Материали по геологията и минералогията на България", а по-късно и такива от специализирани геоложки изследвания.

Последователно са създавани и развивани държавни организации, закони и дейности, относно минните и геоложките работи и през 1890 г. е основано отделение "Мини и геологическа снимка" при Министерството на финансите, същото след това е при Министерството на търговията и земледелието (1894 г.), ръководител е Г. Златарски. През 1891 г. е издаден първият закон за мините в България, който по-късно е бил неколкократно изменян и допълван. В 1889 г. е открит Естественоисторическият музей в София, а през 1892 г е организирана Сеизмологичната служба в България. В 1894 г. е предприет опит, но без резултат, за създаване на геоложко бюро към посоченото отделение.

През този период под ръководството на Г. Златарски, са проведени сериозни проучвания в Пернишкия и Бобовдолския въгленосни басейни, започва добив и те са запазени като държавни. Той е изготвил две прегледни геоложки карти на България, но те не са издадени. През 1897 г. Г. Златарски е назначен за редовен професор в Минералогическия институт при Висшето училище, където продължава да работи активно и е извършил редица стратиграфски, регионални и обобщителни геоложки изследвания. За най-важни негови работи се сочат съставената Геоложка карта на България в М 1:300000 и обобщителният труд "Геологията на България", идващ като обяснителен текст на картата. Златарски умира през 1909 г. и последните 6 броя картни листове са издадени през 1911 г., а посочената книга през 1927 г. при активното съдействие на Г. Бончев. Творческото дело на Златарски е оценено високо от българската геоложка общност, но под негово ръководство не е създадена школа от по-млади негови възпитаници и приемници.

Д-р Лазар Ванков, който е геолог-минералог от 1894 г. в отделението "Мини и геологическа снимка", а след оттеглянето на Г. Златарски през 1897 г., е държавен геолог-минералог, е съставил и издал през 1905 г., геоложка карта на Княжество България в М 1:750000. Това е първата публикувана геоложка карта на България, разработена от български автор, която е била посъвършена от предишните публикувани и съставени карти. Ванков постъпва като професор в Софийския университет, замествайки починалия проф. Г. Златарски през 1909 г. Тогава посоченото отделение остава без геолог, а с това и България до 1939 г., е без геоложка служба, която да защитава държавните интереси. При тези условия, редица чужди фирми са изземвали хищнически нашите минерални богатства, интересувайки се от България само като от източник на евтини суровини.

В началото на 20-и век и по-късно, минните инженери са водили геоложки проучвания, необходими за нуждите на добива и са допринесли за изясняването на някои геоложки въпроси: Ст. Каравелов, Кр. Садаков, Б. Радославов, Хр. Боботанов и др. При това обаче, се губи връзката между научната и практичната геология и няма размах в геоложките проучвания и изследвания.

Основните геоложки изследвания са провеждани от геолозите, работещи предимно в Университета: Л. Ванков, Л. Димитров, С. Бончев, Г. Бончев, Н. Пушкаров, П. Андреев, П. Бакалав, Х. Пиперов, Д. Аллахверджиев, И. Стоянов, В. Радев, Р. Попов и др. Те са провеждали предимно регионални проучвания с оглед на приложната геология, но разработваната тематика маркира вече разностранност и специализация – С. Бончев през 1904 г. с работата си "Тектоника на Западния Балкан" бележи началото на тектонските изследвания в България; Н. Пушкаров създава (1911) Почвоведска секция при Земеделската опитна станция в София; К. Попов извършва (1917) първите български измервания на геомагнитното поле у нас.

Редица чужденци са допринесли също за повишаване изучеността на минералните суровини и геологията на България, но тук се посочват данни за работите само за някои от тях. Х. В. Шкорпил (1884) е отпечатал в България, четвъртата по ред цветна геоложка карта в М 1:3000000. Ф. Тула (F. Toula) е провел обширни изследвания в райони от Стара планина и е отпечатал карта на Балканския полуостров М 1:2500000 (1881) и такава на Дунавска България и Източна Ромелия в М 1:1600000 (1890). Неговото дело у нас е оценявано като значителна крачка в развитието на геоложката изученост на България. В райони от Западна България са работили и сръбски геолози. Й. Цвиич е отбелязал заледяванията в Рила планина и е изложил становище за тектониката на Балканския полуостров и България (1904).

През времето, когато България е била обвързана с Централните сили (Германия, Австро-Унгария) у нас са

работили предимно германски фирми и редица специалисти, в това число геолози и географи. Основната част от тези работи са насочени към минералните суровини и са допринесли за геоложкото и геоморфоложкото изучаване на определени райони, но са публикувани главно след войната.

Трябва да се отбележи, че необходимостта от широки познания по естествените науки в това число и по геология, е високо осъзната в независима България и през 1882 г. е преведен, отпечатан и използван в училищата учебникът на А. Покорни "Минералогия с образи за долните класове на реалните и гимназиалните училища". В този дух по-късно през 20-ия век, учениците от средните училища са получавали известни познания по геология.

През 1891 г е създадено Дружество (по-късно съюз) на Българските инженери и архитекти, в което са членували и минни инженери. Същото е настоявало за създаването и на Висше техническо училище или на такъв факултет (1903) към Висшето училище – Университета, а по-късно многократно е действало за въвеждането на висше техническото образование в България.

През м. април 1896 г. е създадено Българското природоизпитателно дружество, негов първи председател е бил Г. Златарски. То е имало за цел "да съдейства за изучаването на България в природно отношение и да въвежда в обществото интерес към природните богатства" и "да способства за взаимното сношение на лицата, които се занимават с естествоизпитание". Дружеството е издавало *Трудове* и *Годишник*, и е събирало библиотека. Редица доклади на неговите сбирки са изнасяли Г. Златарски, Л. Ванков, Г. Бончев, Ст. Бончев и редица други естествоизпитатели. Провеждани са и работни срещи с членове на аналогични дружества от други страни.

През този начален етап на българската геология, специалисти геолози, завършващи естествена история и минни инженери, са били подготвяни в чужбина. Редица от тях са се специализирали по геология, разработвайки работи. Нуждата от специалисти докторски е предопределяла търсенето на възможност за тяхното обучаване и в България. Във Висшето училище, създадено през 1888 г., през учебната 1891/92 г. към Физикоматематическия факултет е открит отдел по Естествена история, а през 1897 г. към същия факултет, е създен Минералого-геологически институт. Г. Златарски е назначен като редовен професор за негов ръководител и с неговото съдействие е учредена минералого-геологическа сбирка. По-късно в Софийският университет, създаден през 1904 г. на мястото на Висшето училище, към Физикоматематическия факултет, са създадени специализирани геоложки катедри по Геология и палеонтология с ръководител проф. Г. Златарски и Минералогия и петрография с ръководител доцент, по-късно професор Г. Бончев, а учебни занятия са водили редица специалисти.

Трети етап – 1918-1945 г. Това е времето, когато България трудно преодолява тежките последици от Първата световна война, а 30-те години, са години на стабилно развитие на българската индустрия. Извършва се добив и преработка на железни, медни, оловно-цинкови, манганови, златни и други руди, на сол, магнезит, каолин и

въглища от находища в България, но при доминиращото участие на чужди фирми.

За началото на този етап е характерно, че българските геолози са относително повече и по-добре организирани. През 1925 г. е създадено Българското геологическо дружество (БГД). То според устава, има за цел "да обединява и съгласува усилията на лицата, които научно боравят с геологията, палеонтологията, минералогията, петрографията, педологията и монтанистичното изучаване на страната...". БГД започва да издава свое списание от 1927 г. и да събира специализирана геоложка библиотека. Тук трябва да се отбележи, че 2005 г. е година и на още един важен юбилей – 80 години от създаването на БГД, който в края на миналата година бе отбелязан по подобаващ начин.

През първата половина на този период, когато Минното отделение е без геолог и България без геоложка служба, широки геоложки проучвания няма. Минните инженери със своята практична дейност, са допринесли за изясняването на конкретни геоложки въпроси и проблеми: Д. Маринов, К. Костов, Г. Коняров, Г. Василев, К. Кръстев, К. Георгиев, Б. Радославов, С. Тошков и др.

През 1935 г. в отделението "Мини и кариери" при Министерството на търговията и промишлеността, е създадена секция "Минни и геоложки проучвания". Тук са работили Е. Коен, Р. Берегов и др. През 1939 г. е създадена Геоложка служба към това отделение, където вече работят 11 души, а ръководител е В. Цанков. През 1941 г към отделението е формирана и геофизична секция с ръководител П. Паунов. През 1940-1942 г., т.е., по времето на Втората световна война, България изкупува редица минни предприятия и посочената по-горе секция през 1940-1941 г., се разрастват в Дирекция на природните богатства, ръководена от инж. Д. Маринов. Отпечатани са три годишника с резултати от геоложките проучвания.

Във връзка със земетресението в Чирпанско през 1928 г. са отпечатани статии на Ст. Бончев, Г. Бончев и П. Бакалов. Специализирани геоложки изследвания са провеждани главно от геолози, работещи и специализиращи в Университета, а работите им са с регионален и приложен характер: В. Радев, П. Гочев, Н. Николов, Ст. Димитров, В. Цанков, Д. Яранов, Ек. Бончев, Ив. Костов, Е. Коен, Ц. Димитров, Щ. Желев, В. Арнаудов, А. Стефанов, Б. Каменов, Р. Берегов, А. Янишевски, Ж. Гълъбов и др.

В Университета под ръководството на Ст. Бончев, са работили редица млади специалисти, разработвайки конкретни проблеми, а също и докторски работи. Първата такава работа е защитена през 1929 г. и се въвежда научната степен доктор по геология. Редица от тези млади специалисти по-късно стават едни от основните изследователи на геоложките проблеми в България. Ст. Бончев работи усилено и започва да изготвя и издава геоложка карта на България в М 1:126000, след това в М 1:2000000 (1925), през 1938 г. е отпечатана геоложка карта на западната и средната част на Балканския полуостров в М 1:800000, а по-късно подготвя геоложка карта на България в М 1:500000. Той е очертал главните страни от геоложкия строеж на България. През 1932 г. Ст. Бончев и други геолози, отчитайки нарасналите нужди, започват издаването на списанието Geologica Balkanica.

През този етап в България са работили и са публикувани работи от редица чуждестранни геолози и геоморфолози във връзка с минерални суровини и разработването на геоложки проблеми. Техните работи допринасят за попълното и специализирано изучаване на геологията на отделни райони.

През 1942 г. е открито Висше техническо училище с два факултета в София и се отваря пътят за висше техническо образование в България. Към Машинно-технологическия факултет е учреден и отдел по *Минно инженерство*, но той е оформен много по-късно. Тогава в Строителноархитектурния факултет, към катедра *Пътища и железници*, е създадено геоложко звено, където са преподавали доц. В. Арнаудов и асистент Ст. Бошев, а лекции е водил и доц. Е. Бончев.

Четвърти етап – 1945-1990 г. За този етап е характерно, че Народна Република България трябва бързо да излезе и преодолее икономическите разрушения и проблеми след Втората световна война, а след това бързо развие икономиката. селското стопанство. ла образованието, науката, културата и изкуството в държавата, съобразно тогавашните изисквания и възможности. За този етап е характерен бърз растеж на българската геоложка практика и наука, миннодобивната промишленост, инженерногеоложкото строителство и индустриалното производство, реализирани етапно във времето.

Наложителната бърза оценката на минералните суровини в края на 40-те години, е била особено трудна задача поради оттеглянето на чуждестранните фирми, намалената или спряна работа на много български минни фирми, липсата на запазена геоложка документация и отсъствието на оценка на минералните суровини в поширок регионален мащаб. Създадена е нова организация, развиваща се във времето и през 1946 г. е оформена Дирекция за геоложки и минни проучвания с ръководител Ц. Димитров. Издадена е обобщителната работа "Основи на геологията на България", в която са разгледани редица въпроси относно метаморфните и магмените скали. стратиграфията на седиментните последователности, тектонския строеж, минералните суровини, минералните води, данни за водите, почвите и т. н. Издадена е и геоложка карта на България в М 1:500000, съставена от Б. Каменов, а през 1951 г. в М 1:1000000 от Ек. Бончев. Тези обобщения са били съществена основа за по-нататъшната практическа и изследователска геоложка дейност.

За оценката на минералните суровини са били необходими солидна материално-техническа база и оборудване, значителен брой от разнообразни високо подготвени специалисти с опит и значителни средства и време. С всичко това в цяло България не е разполагала и по предложение на Правителство през 1948 г. е създадена смесена българо-съветска Комплексна геоложка експедиция (КГЕ) с ръководител К. Прасолов, продължаваща да работи до 1955 г. Тук са работили над 130 души високо подготвени съветски специалисти. Техните познания, опит и умения на организация и работа,

са били изключително полезни за разгънатите геологопроучвателни работи и същевременно, те са школа за редица български специалисти и организации. Проведените ревизионни проучвания са дали правилни насоки за разгръщането на геологопроучвателните работи и за постигането на значителни успехи. Посочването на няколко имена на съветски и български специалисти тук ще е неудачно, защото трудът и успехите на всички останали, допринесли за събирането и интерпретирането на геоложките материали, може да се приеме за неоценен.

В Източните Родопи в Родопската металогенна зона, са установени значителни запаси от полиметални руди в Маданското, Маджаровското, Устремското, Лъкинското, Звездел-Пчелоядското, Давидковското, а по-късно и в Осоговското рудно поле. За добив и преработка на рудите от Родопския район през 1950 г. е създадено българосъветското минно дружество ГОРУБСО, което е поело и обектите на МАД "Пирин" и МАД "Родопски метал". действащи тук от 30-те години. Построени са пътища, електропроводни съоръжения, въжени пинии обогатителни фабрики и миньорски центрове. Реализиран е значителен добив и по добив на оловно-цинкови руди на глава от населението България достига до пето място в света. С изграждането на металургичните заводи в Кърджали (1955 г.) и Пловдив (1961 г.) производственият цикъл е затворен и икономическият ефект е значителен, а чистотата на металите добити във втория от заводите е на и над световните изисквания.

Успешни геологопроучвателни работи са проведени и в Панагюрския, Челопешкия, Врачанския и Чипровския рудни райони, също и на железни руди от Кремиковското находище. Утвърдени предприятия за геоложки проучвания има в София, Асеновград и Ямбол.

Съветски специалисти от КГЕ и български специалисти вземат активно участие при откриването и проучването на находища на нефт и газ в България: първото газо-нефтено находище при с. Тюленово (1951), Долнодъбнишкото нефтено (1962), Чиренското газово-кондензантно (1963). Долнолуковското нефте-газово (1973) и на други малки, неизяснени находища. Проведени цялостно са целенасочени геоложки и геофизични изследвания на шелфа и акваторията на българската част от Черно море, но България не разполага с нужните материалнотехнически и финансови средства за сондиране в морето. Утвърдени предприятия на проучване и добив на нефт и газ има във Варна, Плевен и Монтана.

През м. март 1946 г. е създадено Съветско-българско минно дружество за добив на уранови руди в района на гр. Бухово. Тук първите организирани опити за добив на торбернит са от 1912 г., 1930 г. и от германски фирми през войната. По-късно е създадено и геологопроучвателно предприятие към ДСО "Редки метали" и в България е осъществен значителен добив на уранови руди. Тази организация е разформирована през 1991 г.

Значителни запаси от въглища са доказани в Пернишкия, Бобовдолския, Софийския, Станянския, Белибрежкия, Симитлийския, Чукуровския, Черноморския, Елховския, Маришкия, Свогенския, Централнобалканския, а след това в Добруджанския и в други по-малки басейни. Съдействието на съветските специалисти и тук е положително. Възможностите за значителен добив на въглища, са предопределили създаването на крупни минни предприятия и построяването на редица ТЕЦ. Така производственият цикъл и тук се затваря и икономическите резултати са по-успешни.

Значителен обем геологопроучвателни работи са провеждани и по изучаването и проучването на нерудни минерални суровини, керамични и строителни материали, зеолити, води, проучвания за строителство на язовири, каскади, пътища, напоителни системи и други нужди. Създадени са и специализирани организации като Минпроект, Водпроект, Хидропроект, Енергопроект, НИПРО "Руда", Пътпроект и др. Разработвани са и проекти за ползването на геотермични източници.

Провеждането И разгръщането на геологопроучвателните работи изисква нови геоложки данни от широкоплощно геоложко картиране и геофизични изследвания. Такива са реализирани от 1947 до 1990 г. и по-късно, като основен изпълнител е колективът на Предприятието за геофизични проучвания и геоложко картиране в гр. София, което също няколкократно е реорганизирано и преименувано. Първоначално са провеждани разномащабни геоложки картирания в различните райони, проведена е геоложка картировка в М 1:100000 (1954-1957 г.), организирани са лаборатории, търсене и предварителна оценка на минерални суровини и други. След това се провежда геоложко картиране в М 1:25000 на над 70% от територията на България, като си използвани космически и аерофотоснимки. Паралелно с това са провеждани геохимични, геофизични, шлиховоминераложки и геоморфоложки изследвания и картирания.

Паралелно с търсенето на руди, въглища и нефт са провеждани геофизични проучвания: магнитопроучване, електропроучване, каротажи и др. Провеждани са сеизмични изследвания за решаването на структурни задачи, теренни и сондажни методи за нефтената геофизика и геология, радиометрични и геофизични уранови търсенето изследвания за на руди, специализирани инженерно-геофизични изследвания, завършени са регионална магнитна и гравиметрична снимка на страната, прилагани са аерогеофизични методи И Т.Н.

За правилното оценяване и рационолното използване на проучените минерални суровини през 1952 г., е създадена Държавната комисия по запасите (ДКЗ).

разнообразни Мащабните геологопроучвателни, геофизични геологокартировачни И роботи са организирани и ръководени последователно от: Главна дирекция за геоложки и минни проучвания (1950), Управление за геоложки и минни проучвания (1954), Главно управление за геоложки и минни проучвания (1955), Управление за геоложки проучвания и охрана на земните недра (1959), Комитет по геология (1969), ДСО Геоложки проучвания (1971), Комитет по геология (1976), Комитет по геология и минерални ресурси (1991-1997). Ръководители са били последователно: акад. Й. Йовчев, инж. Д. Чолаков, инж. Р. Доков, инж. Й. Кънев, С. Калайджиев, проф. дгн В. Балинов, проф. дгн Т. Маринов.

Въпреки значителните успехи в геоложките проучвания и изследвания, са допуснати увлечения и слабости, като са провеждани проучвания на минерални суровини с неизяснени техникоикономически показатели, извършвани са сондажни изработки без цялостна и пълна научнообоснована оценка и не са постигани очакваните резултати, допускано е проучване и експлоатация на бедни, нерентабилни руди.

Цялата огромна информация, събрана при провеждането на разнообразните геоложки проучвания и научни изследвания, се съхранява в Националния геоложки фонд.

За постигането на бърз научно-технически подем са били нужни значителен брой разнообразни и високо подготвени специалисти за всички отрасли. Висшето техническо училище през 1945 г. е трансформирано в Държавна политехника със седалище в гр. София. Тук през 1950/51 г към Машинния факултет е създаден и започва да работи и обучава студенти, отделът по Минно инженерство и инженерна геология. След това от 1951 до 1953 г. той е в рамките на новосъздадения Химикотехнологически факултет, а от 1953 г. прераства в самостоятелно висше учебно заведение (ВУЗ) - Минногеоложки институт. По-късни се развива и прераства във Висш минно-геоложки институт (1965) и Минно-геоложки университет от 1995 г. Тук се обучават студенти по специалностите: Геология и проучване на полезни изкопаеми, Инженерна геология и хидрогеология и Геофизични методи на проучване (Приложна геофизика). В Геологопроучвателния факултет от 1951 г. функционират 5 геоложки катедри: Полезни изкопаеми с ръководител доц. Гр. Николаев, Минералогия и петрография с ръководител проф. Г. К. Георгиев, Геология и палеонтология с ръководител проф. Ст. Бошев, Инженерна геология и хидрогеология с ръководител доц. Б. Каменов, Приложна геофизика с ръководител доц. Л. Димитров. През първите години от създаването на МГУ, ценна помощ при преподаването на редица дисциплини, са оказали преподаватели, поканени от СССР и предоставени от там учебни сбирки и пособия. Със създаването (1961) и дейността на Научноизследователския сектор (НИС) при МГУ връзката между геоложката, инженерната дейност и науката е съществена и специализирана, и тя се отразява положително на учебния процес и на дейността на миннодобивните предприятия.

В Софийския университет през учебната 1946/47 г. от Природоматематическия факултет е обособена специалността Естествена история. Специалността геология е започнала да се обособява през 1949 г. Тогава в преименувания факултет с наименованието Природоматематически, се обособяват в специалността Естествена история, отделите по Биология и Геология, и съответно през 1950 г. се формира Биолого-геологогеографски, а през 1963 г. Геолого-географски факултет. След промени във времето, сега функционират катедрите Геология и палеонтология и Минералогия, петрология и полезни изкопаеми. В научноизследователската и учебната дейност е осъществявана интеграция с Геоложкия институт при БАН. Разработват се проекти и с участието на специалисти от МГУ.

Малки звена от геолози са формирани в Химикотехнологическия, Пловдивския и Благоевградсия университет. В Перник и Хасково, а по-късно в Мадан функционират техникуми, а от 1997 г. в гр. Кърджали колеж при МГУ "Св. Иван Рилски", обучаващи средни специалисти с минна и геоложка подготовка.

Към Българската академия на науките в геоложкото направление от 1947 г., се създават и развиват научни институти: Геологически институт, Геофизичен институт, Институт по приложна минералогия, Институт по океанология – гр. Варна и към Комитета по Геология НИГИ, по-късно НИПИ. През 1985 г. е основан Националният музей "Земята и хората".

През 1963 г. излиза последният учебник по геология за средните училища. От учебната 1964/65 г. геологията е извадена от учебните програми и много кратки данни за Земята, скалите и минералите учениците получават в занятията по география.

В учебните заведения са съставени и издадени редица специализирани учебни пособия, в които са включени винаги нови материали, а подготовката на специалистите е на високо ниво. Много специалисти повишават своята квалификация, разработват кандидатски и докторски работи в това число и в тогавашния СССР и други страни. Непрекъснато нараства и е значителен обемът на нови геоложки издания и списания в обществените и личните библиотеки. Евтините и пълноценни съветски геоложки книги и преводни такива, са били винаги ценни справочници и методически ръководства за българските студенти, геолози и други специалисти. Доставянето и ползването на западноевропейски и американски (САЩ, Канада, Бразилия и др.) геоложки книги и списания се подобрява след 1964 г. и значително нараства след 1995 г.

Публикуването на резултатите от завършените изследвания и на новополучените геоложки данни, достижения и открития е било своевременно. Издават се Годишници на Дирекцията за геоложки проучвания и на последвалите организации, Известия нови на Геологическия институт при БАН и последвалите ги нови издания, Годишник на СУ - Геолого-географския факултет, Годишник на Минно-геоложки университет и няколко специализирани научнопопулярни списания. Издава се списанието на БГД след прекъсване от 1950 до 1959 г., също така Geologica Balcanica след прекъсване от 1951 до 1974 г. Редица постижения и проблемни въпроси са обсъждани на конференции на БГД и различни български и международни СИМПОЗИУМИ, като докладите са публикувани в съответни сборници.

За този етап е характерна постоянна връзката между научните и геологопроучвателните организации, а също и между страните от Източна и Западна Европа. Специалисти от Геоложкия институт при БАН, СУ, МГУ и КГ (НИГИ) обработват и систематизират значителните нови геоложки материали и е съставена Геоложка и тектонска карта на България в М 1:500000 (1960) и 1:200000 (1961), карта на полезните изкопаеми М 1:500000 (1960), инженерногеоложка карта 1:500000 (1962), магнитна и гравитационна карта в М 1:200000 (1963) и др. През 1971 г. е отпечатан обобщителният труд "Тектонски

строеж на България". Комплексните изследвания на минералните суровини са изложени в монографията "Полезните изкопаеми в НРБ" (1960, 1961), съставена е металогенна карта на страната М 1:500000 и на Карпато-Балканската област М 1:1000000 (1983). От авторски колективи и самостоятелно са публикувани редица трудове: Тектоника на България (1960), Стратиграфия на България (1968), Тектоника на Предбалкана (1971), Проблеми българската геотектоника (1971), на Минералите в България (1964). Металогения на Родопския срединен масив (1979), Седиментните комплекси в България (1980). Строеж на земната кора в България (1988), Геология на урановите находища (1991) и др. Резултатите от проучванията на нефт и газ в Северна България, са систематизирани и обобщени от съветски и български специалисти в монографичния труд Геология и нефтегазоносност на Северна България (1976). Отпечатани са няколко обобщителни трудове от поредицата Фосилите на България и на Geologica Balcanica, и други обобщителни работи.

Натрупаният опит, значителните геоложки материали и резултатите от научните изследвания и обобщения, позволиха по-късно да бъдат съставени и отпечатани редица карти: Геоложка карта на България в М 1:500000 (1989) и 1:100000 (1980-1990), Металогенна карта на България в М 1:100000 (1989), Карта на свлачищата в България М 1:500000 (1999) и др. Нарастването на обема на специализираните геоложки изследвания и работни колективи, и на тесни специалисти, предопределя създаването на Българското геофизично и Българското минералогическо дружество (1990).

Трудно е да се посочат имената на всички, които са оставили трайни следи в развитието на българската геология и българската геоложка школа, но е напълно уместна да се почетат и посочат няколко големи имена: академиците Стр. Димитров, Й. Йовчев, Ек. Бончев и Ив. Костов.

През разглеждания етап у нас е използвана геосинклиналната теория и становището за блоковолинеаментния строеж на нашата страна, но от 80-те години идеите и интерпретациите се разглеждат и обясняват от позициите на тектониката на плочите в Карпато-Балкански, Медитерански и Европейски план. За това допринася и дейността на български специалисти в редица международни проекти.

Авторитетът на българските геолози, инженер-геолозихидрогеолози и геофизици, и на чуждестранните специалисти, обучавани у нас, е значителен. Български организации и специалисти са работили успешно в редица държави: Албания, Алжир, Ангола, Либия, Мавритания, Мозамбик, Монголия, Сирия и др.

През този етап българската геология в цяло и българските геолози, обединени като членове на Българското геологическо дружество, постигат значителни успехи и непрекъснат напредък. По оценката на редица специалисти, това е златен век на българската геология.

Пети етап – 1990-2005 г. Това е времето на неорганизираната перестройка и неблагоразумното

разрушаване на създаденото, времето на дългия преход и времето на началното развитие на геологопроучвателните работи и на миннодобивната дейност по правилата и изискванията на пазарната икономика. Приет е Закон за подземните богатства и Правилник за неговото прилагане през 1999 г. Разформирован е Комитетът по геология и минерални ресурси през 1997 г. и привидно са запазени елементи от него към Министерството на околната среда и водите, а други към Министерството на регионалното развитие и благоустройството, и Министерството на енергетиката и енергийните ресурси. Това разединение създава условия за влошено държавно регулиране. В България сега няма и не е посочена една цялостна държавна геоложка организация (дирекция, служба, формулирани задачи, агенция) с ясно цели, организационен строеж, права и задължения.

Интересът към българските минерални суровини през последните години, предопределя създаването и реорганизирането на стотици частни фирми за търсене и проучване, и добив. Това е положителен факт, но предлаганите услуги и работи, са работа на парче – частни сервизни геоложки, геофизични и сондажни услуги. Те не са в състояние с тези си екипи, оборудване и финансови средства да провеждат разгънати, съвременни комплексни геологопроучвателни, регионални и басейнови изследвания и научнообосновани прогнозни оценки на разнообразни рудни, нерудни и енергийни суровини, които да се предоставят за проучване и добив в бъдеще.

Ясно е, че бъдещите изследвания и разработки ще са насочени към богати находища в дълбочина и в райони с по-слабо изяснена перспективност, но при добре изучен геоложки строеж и направена обоснована първична оценка. Към какво се проявява интерес сега – към това в което българската геология и преработваща индустрия, са имали значими достижения през по-ранния етап. Напълно ясно е, че без извършването и предлагането на високи научнообосновани оценки и убедителни резултати от геоложките проучвания, отговарящи на съвременните изисквания, привличането на крупни инвеститори за добив и преработка на минерални суровини ще е много трудно. Без съмнение тогава привлекателността и цената на предоставените находища и площи ще е чувствително поголяма. Не трябва да се допусне инициативата в това отношение да е в ръцете на чуждестранните фирми. Предпоставките за това сега са значителни, поради острата нужда от редица минерални суровини, някои от които в България има и поради общ световен застой в геоложките дейности, и редица преструктурирания в енергийния и други отрасли в световен мащаб. Друг твърде важен проблем за България е своевременното усъвършенстване на технологиите на преработка на минералните суровини в нашите заводи и да се работи по затворен геоложки и производствен цикъл. Качеството на продукцията на някои от тях, по-рано е било на и над световните изисквания. Така общият икономическият ефект ще е по-добър и ще се спре износът на рудни концентрати, т.е. на полуфабрикати, съдържащи ценни минерални примеси и елементи, привличащи сега крупни чуждестранни фирми. България е малка страна, но имаща значителни за нейните нужди ресурси от минерални и енергийни суровини. Тук е нужна компетентна, комплексна

държавна политика, а опит, умение, възможности и специалисти у нас има и не трябва да се допусне отново както е през първата половина на 20-и век, чуждестранните фирми да се интересуват от България само като от пазар и да експлоатират хищнически нашите природни богатства. Първата крачка в тази насока по отношение на геоложките работи и изследвания, е направена с разработената *Стратегия за развитието на зеологопроучвателната дейност и опазването на земните недра в Република България до 2010 г.* Нужно е нейното реализиране и усъвършенстване, а също така и на законните разпоредби в процеса на работа в това число и за минералните и подземните води, геотермичната енергия и др. Времето тече, а изоставането е пагубно.

През този период геоложките изследвания, по-точно казано геоложкото картиране, е насочено към райони, перспективни за търсенето на нови находища на минерални суровини и такива с относително по-слаба изученост. Провеждането на геоложко картиране, което има за задача да ревизира и актуализира геоложките данни и материали от преди 20-30 г. и съставянето на геоложка карта в М 1:50000, е наложително и правилно. Допълненията и комплексното систематизиране на данните за геоложкия строеж на основните геологотектонски единици и научнообоснованата оценка на минералните суровини, съобразно съвременните изисквания и концепции, са напълно необходими и правилни.

През този етап, научните геоложки изследвания са насочени към разработването на редица по-конкретни проблеми и въпроси, съобразно наличните финансови средства. Наши специалисти вземат участие и в редица международни проекти, резултатите, от които позволяват разглеждането и интерпретирането на геоложкия строеж на България, съгласно съвременните концепции и достижения за геоложкото развитие на съседни европейски региони. Това е положителен факт, необходим и за научнообосновани оценки. Резултатите от провежданите геоложки изследвания са докладвани, обсъждани и дискутирани на редица научни сесии, провеждани през последните години ежегодно и организирани от БГД и университетите.

В учебните заведения това е времето на въвеждането на тристепенното обучение – бакалаври, магистри и доктори. В учебните занятия са въведени редица нови специални геоложки дисциплини и методи в съответствие със съвременните изисквания, създават се условия и възможности за дистанционно обучение и нови, и преоборудвани учебни и методични лаборатории. По отношение на последните и за учебните пособия са проявени известни задръжки от липсата на средства. Сега учебни пособия се отпечатват няколко години след тяхното изготвяне, а други ще чакат ред и възможности. Независимо от наличните трудности на прехода, сега в университетите са необходими действия и организационни мероприятия, за да се повишава подготовката на студентите, а също така и на специалисти, завършили преди десетки години и на такива пренасочили се в поспециални направления.

Независимо от трудностите през различните етапи в миналото и сега, дългият 125 годишен път на развитие на българската геология и 80 години от съзидателната и организационна дейност на Българското геологическо дружество, натрупаният богат опит, достижения и авторитет, ни дават основание и ни задължават в съвременните нови условия и изисквания, никога да не се забравят целенасочеността, размаха на работа и завета на родения преди 150 години и починал преди 95 години, основоположник на българската геология, проф. Георги Златарски: *С науката и само с нея при всички условия, напред!*

Литература

- Бончев, Ек. 1955. Геология на България. С., Наука и изкуство. 5-57.
- Бояджиев, Ст., В. Вълков.1999. Половин век кондиционно геоложко картиране в България. – В: Половин век системно и кондиционно геоложко картиране в България – сборник резюмета. С., НИИ "Геол. и геофизика", 9-12.
- Бъчварова, Н., М. Бъчваров. 1975. *Д-р Петър Берон. Живот – дейност – натурфилософия*. С., Изд. Наука и изкуство, 1-220.
- Дабовски, Хр., В. Милев, Д. Йосифов. 2000. 120 години българска геология. – Минно дело геол., 9, 43-46.
- Каменов, Б. 1980. 100 години българска геология. Въглища, 10, 3-4.
- Костов, Р. 2005. Ролята на първите български геолози в дейността на Българското природоизпитателно дружество. – *Геол. и мин. ресурси*, 5, 8-12.
- Маврудчиев, Б. 2005. Страници от календара на българската геология. С., Изд. Бълг. геол. д-во, 1-133.
- Мандев, П. 1981. 100 години българска геология. Сп. Бълг. геол. д-во, 42, 1, 1-16.
- Милев, В., Вл. Станев, В. Иванов. 1996. Статистически справочник за добитите руди в България през периода 1878-1995 г. С., Земя-93, 1-196.
- Московски, Ст. 1995. Катедрата по Геология и палеонтология в Софийския университет на 90 години. – Сп. Бълг. геол. д-во, 56, 2, 114-119.
- Хрисчев, Хр. 1997. Геологическият институт при БАН на 50 години. Сп. Бълг. геол. ∂-во, 58, 2, 69-70.
- Юхновски, Ив. 2003. За българската наука и Българската академия на науките. С., Акад. изд. "Марин Дринов", 1-268.
- Двадесет години Висш Минно-геоложки институт. 1973. ВМГИ, С., 1-8.
- Шестдесет години висше техническо образование в България по архитектура, строително инженерство и геодезия. 2002. С., Унив. по архитект., строит. и геодезия, 1-66.