

DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-493-502

УДК 553.492.1

Характеристика горных пород рудного месторождения Бухадры в Алжире

А. Ламапра¹, Е.М. Котельникова¹, А.О. Сергеев²¹ Российский университет дружбы народов*Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*² Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина*Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 65, корп. 1*

В настоящее время расчет устойчивости горного массива является одной из основных задач в период проектирования подземных сооружений на рудном месторождении Бухадры. Каждая методика предполагает собственный расчет и классификацию категорий устойчивости. В данной статье представлены результаты лабораторных исследований физических свойств образцов горных пород. Для каждого образца были определены плотность, пористость, степень насыщения грунта водой, степень растрескивания. По результатам проведенных работ можно сделать вывод о том, что горные породы железного рудника Бухадры очень устойчивы к воздействию различных факторов. Для анализа горных пород железного рудника Бухадры с целью классификации горных массивов и прогнозирования дальнейших работ была использована классификация, разработанная Норвежским геотехническим институтом. Следует отметить, что для понимания изменчивости прочностных характеристик руды используется показатель прочности пород. Это ведущий индикатор зон скальных пород низкого качества. Согласно физико-механическим испытаниям в лабораториях, отмечено, что массив рудника Бухадры имеет хорошую устойчивость к сжатию, растяжению и сдвигу. Это говорит о том, что проблемы устойчивости на данном месторождении связаны с техническими факторами, такими как поверхностная и подземная добыча полезных ископаемых.

Ключевые слова: определение свойств горной породы, физико-механические свойства, скальный массив, механические испытания, Бухадра, горная выработка

Введение

Планирование работ (включая инфраструктуру: метро, здания, дороги и т.д.) учитывает многие факторы, связанные с организацией участков, вентиляцией и давлением грунтов. С углублением шахт давление на землю становится одним из основных критериев, которые необходимо контролировать, особенно в районах, где расположены старые шахты.

Чем больше глубина выработки, тем важнее определение физико-механических свойств пород. На изменение характеристик в шахтах оказывают влияние:

— увеличение или уменьшение количества добытой руды;

- стабильность горных работ;
- возможность несчастных случаев в рабочих шахтах.

Экономическую роль проблемы устойчивости склона нельзя недооценивать. Изменение угла наклона на 3° или 4° приводит к изменению объемов обнаруженных запасов. Разница может составлять миллионы кубических метров. Довольно часто углы насыпей на $5\text{--}8^\circ$ меньше критических [1].

Определение физико-механических свойств массива во время открытой или подземной добычи требует детальной проработки всех геологических и геотехнических факторов рассматриваемого массива, тектонических условий, физико-механических свойств горных пород. Изучение механических испытаний представляет собой совокупность показателей, которые характеризуют сопротивление горной породы воздействующей на нее нагрузке, ее способность деформироваться при этом, а также особенности поведения в процессе разрушения.

Следует отметить, что контроль горного давления помогает построить модель шахты с целью повышения уровня безопасности работы в ней.

Для решения задач данного исследования необходимо выполнение полевых и лабораторных работ. В процессе полевых работ было отобрано около 50 образцов керна размером 60 см (по 3 образца для каждого изучаемого слоя). В ходе лабораторных исследований изучены физические свойства образцов. Определены плотность, пористость, степень насыщения грунта водой, степень растрескивания горных пород каждого образца.

Определение физических свойств

Согласно классификации Лео Хук и Брайн [2], изученные нами породы относятся к твердым осадочным породам.

В породах минеральное вещество образует сплошной скелет, который не заполняет все пространство, в результате чего образуются пустоты. Доля пустот называется пористостью. Форма пустот, их размер, распределение в породе влияют на механические свойства горных пород [3].

В зависимости от пористости породы подразделяются на [4]:

- породы низкой пористости: $0 < n < 5\%$;
- породы средней пористости: $5 < n < 10\%$;
- породы высокой пористости: $10 < n < 20\%$;
- породы очень высокой пористости: $n > 20\%$.

$$n = \frac{V_v}{V_t} \times 100\%,$$

где $V_v = M_{sat} - M_d = 612,7 - 579,8 = 32,9 \text{ см}^3$; $V_t = 231,5 \text{ см}^3$; $n = 14,212\%$.

По результатам лабораторных исследований можно сказать, что пористость горных пород Бухадры высокая (14%).

Также была определена степень влажности, или степень насыщения (S_r), которая характеризует степень заполнения пор водой. Данный параметр используется для вычисления расчетных сопротивлений грунтов при проектировании шахт

и варьируется от 0 % (сухой почвы) до 100 % (насыщенный грунт) [5]. Для определения степени насыщения использовалась формула

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100 \%,$$

где $V_w = 6,5 \text{ см}^3$; $V_v = M_{sat} - M_d = 612,7 - 579,8 = 32,9 \text{ см}^3$; $S_r = 19,75 \%$.

По степени насыщения грунт на изучаемой территории относится к влажным грунтам.

Степень трещиноватости является одним из самых важных показателей для характеристики горных пород. Данный параметр позволяет выбрать метод эксплуатации и решить проблему устойчивости краев карьера [6]. В табл. 1 представлена характеристика горных пород по степени трещиноватости.

Таблица 1

Характеристика горных пород по степени трещиноватости
[Table 1. Characteristics of rocks according to the degree of fracture]

Класс [Class]	ID (см)	Степень трещиноватости [Cracking degree]
ID1	>200	Очень слабая [Very weak]
ID2	60—200	Слабая [Weak]
ID3	20—60	Средняя [Average]
ID4	6—20	Сильная [Strong]
ID5	< 6	Очень сильная [Very strong]

ID — среднее расстояние между трещинами. Рассчитывается по формуле

$$ID = \frac{L}{n},$$

где L — длина изученной части массива (м); n — количество трещин на измеряемой части.

Трещины замерялись на образцах. Среднее количество трещин на длине 1 м составляет около 5, соответственно значение $ID = 0,2 \text{ м}$ (20 см), $20 < ID < 60$.

Согласно полученным результатам плотность разрывов является средней (табл. 1).

Определение механических свойств

В процессе исследований были определены механические свойства горных пород [7]. С помощью гидравлического пресса проводились испытания на сжатие и растяжение образцов цилиндрической формы диаметром 50 мм и длиной 100 мм.

В табл. 2 представлена характеристика горных пород по сжимающему напряжению, при котором образец разрушается [8].

Для определения предела прочности при сжатии (R_C) была использована формула

$$R_C = F/S \text{ (МПа)},$$

где F — сжимающая, разрушающая сила (кН); S — площадь поперечного сечения образца (м^2).

Таблица 2

Характеристика горных пород по сжимающему напряжению
[Table 2. Characteristics of rocks by compressive strength]

Образец [Sample]	Слабо резистентный [Weakly resistant]	Средне резистентный [Medium resistant]	Резистентный [Resistant]	Сильно резистентный [Very resistant]
R_c (МПа) [R_c (MPa)]	< 5	20	60	> 60

В табл. 3 представлены результаты вычислений.

Таблица 3

Значение сжимающего напряжения
[Table 3. The value of the compressive strength]

Образец [Sample]	S (м ²) [S (m ²)]	F (кН) [F (kN)]	R_c (МПа) [R_c (MPa)]
1	0,0019	100	50,04
2	0,0019	100	51,4
3	0,0019	100	51,1
4	0,0019	100	51,5
Среднее [Average]			51,01

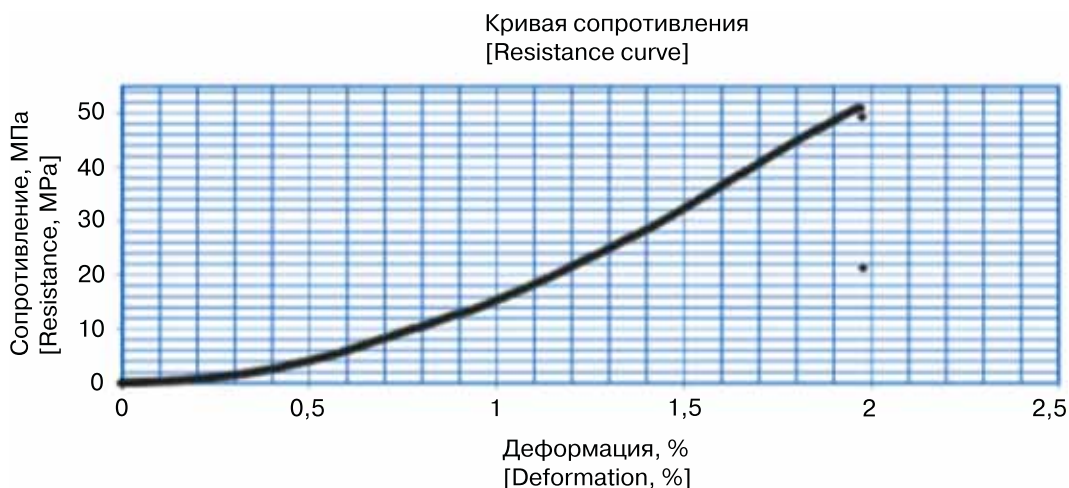


Рисунок. Кривая разрушения образца путем сжатия
[Figure. The curve of the destruction of the sample by compression]

Проанализировав табл. 2, 3 и рисунок, в соответствии с полученным результатом можно сделать вывод, что горная порода резистентная.

Определение прочности горных пород при одноосном растяжении влечет большие трудности, главная из них — техническая сложность в создании приемлемой геометрии образца и его линейного растяжения. Поэтому прочность определяется косвенными методами, одним из которых является «бразильский», основанный на решении задач теории упругости. В плоскости при действии силы в образце возникают растягивающие напряжения, перпендикулярные этой плоскости. Скорость приложения нагрузки 0,1–0,5 МПа/с. Изменение скорости приложения нагрузки вызывает появление зависимости прочности образца от скорости приложения нагрузки.

Прочность образца определялась по формуле

$$Rt = \frac{2f_{\max}}{hd\pi} [\text{кг/см}^2],$$

где f_{\max} — максимальная растягивающая нагрузка (кг); d — диаметр сечения разрыва образца (см); h — длина испытываемого образца (см).

В табл. 4 представлены результаты вычислений.

Таблица 4

Значения прочности образцов (бразильский тест)
[Table 4. The value of the tensile strength (Brazilian test)]

Образец [Sample]	S (м ²) [S (m ²)]	F_{\max} (КН) [F_{\max} (kN)]	R_t (МПа) [R_t (Mpa)]
1	19,62	45,51	5,85
2	19,62	45,51	5,84
3	19,62	45,51	5,66
4	19,62	45,51	5,81
Среднее [Average]			5,79

По итогам проведенных исследований можно сделать вывод о том, что горные породы железного рудника Бухарды очень устойчивы к воздействию различных факторов. Для оценки перспективных площадей в Алжире необходимо использовать комплекс методов, что позволит оценить перспективность данных участков [9].

Следует отметить, что для изучения изменчивости прочностных характеристик руды используется показатель прочности пород (RQD). Метод RQD был разработан в 1964 г. Д.У. Диром [10]. Он определяется измерением процентного выхода кусков керна, длина которых превышает 100 мм. Куски керна, не отличающиеся крепостью или прочностью, не учитываются, даже если их длина составляет 100 мм. Это ведущий индикатор зон скальных пород низкого качества. На сегодняшний день RQD используется в качестве стандартного параметра в регистрации керна и имеет принципиальное значение для основных систем классификации массы: характеристики толщи горных пород и системы номенклатурных показателей. В табл. 5 представлена связь между индексом RQD и качеством массы горных пород [11].

В табл. 6 представлены результаты вычислений.

Таблица 5

Связь между индексом RQD и качеством массы горных пород
[Table 5. The relationship between the RQD index and the quality of rock mass]

RQD (%)	Качество массива горных пород [The quality of the rock mass]
< 25	Очень слабое [Very weak]
25—50	Слабое [Weak]
50—75	Проходимое [Passable]
75—90	Хорошее [Good]
90—100	Отличное [Excellent]

Таблица 6

Результаты RQD на изучаемой территории
[Table 6. RQD results in the study area]

Горные породы [Rocks]	RQD (%)	Качество образца [Sample quality]
Серый мергель [Gray marl]	57	Среднее [Average]
Желтый мергель [Yellow marl]	56	Среднее [Average]
Минерализованный мергель [Mineralized marl]	59	Среднее [Average]
Железная руда [Iron ore]	76	Хорошее [Good]
Известняк [Limestone]	79	Хорошее [Good]

Согласно анализу параметра RQD, установлено, что массив состоит в основном из пяти слоев (желтый мергель, серый мергель, минерализованный мергель, известняк и железная руда), качество которых варьируется от среднего до хорошего (табл. 5, 6).

Для анализа горных пород железного рудника Бухадры с целью классификации горных массивов и прогнозирования дальнейших работ (Бартон и др., 1974) была использована классификация, разработанная Норвежским геотехническим институтом [12; 13].

$$Q = RQD / J_n * J_r / J_a * J_w / SRF,$$

где J_n — количество систем трещин; J_r — неровность трещин; J_a — деформация трещин; J_w — наличие воды в трещинах; SRF — коэффициент уменьшения допустимого напряжения.

В соответствии с табл. 7 каждому параметру присваивается значение, а затем, посредством решения математического уравнения, получается числовой индекс Q . Результаты вычисления представлены в табл. 8.

Таблица 7

Классификация горного массива согласно Q [12]
[Table 7. Classification of rock mass according to Q]

Индекс Q [Q index]	Качество горной массы [Rock mass quality]
4—10	Среднее [Average]
10—40	Хорошее [Good]

Таблица 8

Классификация Q -системы горного массива Бухадра
[Table 8. Classification of the Q system of the Boukhadra rock massif]

Параметр [Parameter]	Желтый мергель [Yellow marl]	Серый мергель [Gray marl]	Минерализованный мергель [Mineralized marl]	Железная руда [Iron ore]	Известняк [Limestone]
RQD	56	57	59	76	79
J_n	2	2	2	2	2
J_r	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
J_a	2	2	2	1	1
J_w	1	1	1	1	1
SRF	5	5	5	5	5
Q	4,2	4,275	4,425	11,4	11,85
Качество горной массы [Quality rock mass]	Среднее [Average]	Среднее [Average]	Среднее [Average]	Хорошее [Good]	Хорошее [Good]

Согласно результатам Q -системы, можно сказать, что слои, в которых находятся железная руда и известняк, имеют хорошее качество, а слои, в которых присутствует мергель, имеют среднее качество (табл. 7, 8).

Выводы

В заключение нужно отметить, что согласно физико-механическим испытаниям в лабораториях массив рудника Бухадры имеет хорошую устойчивость к сжатию, растяжению и сдвигу, а значит, проблемы устойчивости на данном месторождении связаны с техническими факторами, такими как поверхностная и подземная добыча полезных ископаемых.

Список литературы

- [1] Mine de Boukhadra. Etude géologique de la région de Boukhadra et L'Ouenza 2014.
- [2] *Berest P., Billaux D., Boulon M., Cornet F. et al.* Comportement mécanique des discontinuités. Manuel de mécanique des roches. Tome 1: Fondements. Paris: Les Presses de l'École des Mines, 2000.
- [3] *Chenafa W., M'zoughem K.* Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain el Kebira — Sétif. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en géologie. Université de Ferhat Abbas de Sétif, 2006. 68 p.
- [4] *Duffaut P., Homand F.* Manuel de mécanique des roches. Tome 1: Fondements. Comité français de mécanique des roches., 2000. 87 p.
- [5] *Jacques L.* Géotechnique 1. Cours Chapitre 1. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2006.
- [6] *Sanat A., Zidani N.* Etude de stabilité des talus de la carrière d'Ain El Kebira. Sétif vis-à-vis un glissement circulaire. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master. Université Abderahmane Mira de Bejaïa, 2015.
- [7] *Sarout J.* Propriétés physiques et anisotropie des roches argileuses: Modélisation Micromécanique et Expériences Triaxiales. Thèse de doctorat. L'université Paris XI ORSAY, 2006. 241 p.
- [8] *Lavasseur M.* Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa glissement de terrain. Exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec, Mémoire de maîtrise de l'université du Québec INRS—ETE. 2003, 213 p.
- [9] *Котельников А.Е., Дьяконов В.В., Котельников Е.Е., Петров А.С.* Выделение перспективных площадей и их оценка на основе уникального комплекса методов // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. 2012. № 2. С. 102—106.
- [10] *Deere D.U.* Désignation de la qualité de la roche (RQD) après 20 ans. Rapport de contrat de génie de corps d'armée américain. Rapport GL-89-1. Vicksburg. MS: Station expérimentale sur les voies navigables, 1989.
- [11] *Zhao J.* Propriétés des discontinuités. Part 3: Cours de mécanique des roches. L'école polytechnique fédérale de Lausanne, 2008.
- [12] *Chalhoub M.* Apport des méthodes d'homogénéisation numérique à la classification des massifs rocheux fracturés. Thèse de doctorat. Ecole Nationale des mines de Paris, 2006, 206 p.
- [13] *Maciej A.* Modification des classifications mécaniques pour les massifs rocheux Schisteux. Thèse de maîtrise des sciences appliquées de l'université de Montréal, Spécialité génie minier, 2012. 163 p.

© Ламамра А., Котельникова Е.М., Сергеев А.О., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 14 сентября 2018

Дата поступления доработанного текста: 27 октября 2018

Дата принятия к печати: 10 ноября 2018

Для цитирования:

Ламамра А., Котельникова Е.М., Сергеев А.О. Характеристика горных пород рудного месторождения Бухадры в Алжире // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования.* 2018. Т. 19. № 4. С. 493—502. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-493-502

Сведения об авторах:

Ламамра Абдессаттар — аспирант департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* геологическое строение месторождений полезных ископаемых, свойства горных пород. *Контактная информация:* e-mail: lamamraabdessattar@gmail.com

Котельникова Елена Михайловна — кандидат геолого-минералогических наук, ассистент департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии, Российский университет дружбы народов. *Область научных интересов:* изучение геологического строения месторождений полезных ископаемых, изучение свойств горных пород. *Контактная информация:* e-mail: kotelnikova_em@pfur.ru

Сергеев Андрей Олегович — магистрант, Российский университет нефти и газа имени И.М. Губкина. *Область научных интересов:* изучение геологического строения месторождений полезных ископаемых, изучение свойств горных пород. *Контактная информация:* e-mail: sergo777899@mail.ru

Scientific article

Characterization of the rock mass of the Boukhadra mine (Algeria)

Abdessattar Lamamra¹, Elena M. Kotelnikova¹, Andrey O. Sergeev²

¹ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russian Federation

² Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)
65 Leninsky Prospekt, bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract. Currently, the calculation of the sustainability of the mountain range is one of the main tasks during the design of underground structures at the Bukhadra ore deposit. Each technique involves its own calculation and classification of categories of sustainability. This article presents the results of our research. As a result of laboratory studies, the physical properties of the samples were studied. For each sample, the density, porosity, the degree of saturation of the soil with water, and the degree of cracking of rocks were determined. As a result of the research, it can be concluded that the rocks of the Bukhadra iron mine are very resistant to various factors. A classification developed by the Norwegian

Geotechnical Institute to classify mountain ranges and predict further work was used to analyze the rocks of the Boukhadra iron mine. It should be noted that in order to understand the variability of the strength characteristics of the ore, the rock strength index is used. It is a leading indicator of poor quality rock zones. According to the physico-mechanical tests in the laboratories, it was noted that the Boukhadra mine massif has good resistance to compression, tension and shear, this suggests that stability problems in this field are associated with technical factors, such as surface and underground mining.

Keywords: determination of rock properties, physical and mechanical properties, rock massif, mechanical tests, Buhadra, mine workings

References

- [1] *Boukhadra Mine. Geological study of the region of Boukhadra and L'Ouenza 2014.* (In French)
- [2] Berest P., Billiaux D., Boulon M., Cornet F. and al. Mechanical behavior of discontinuities. *Manual of Rock Mechanics. Volume 1. Foundations.* Presses. From the Ecole des Mines, Paris, 2000. (In French)
- [3] Chenafa W., M'zoughem K. *Geotechnical study of slope stability in the quarry of Ain el Kebira — Setif.* Final dissertation to obtain the State Engineer Diploma in Geology. Ferhat Abbas University of Setif, 2006, 68. (In French)
- [4] Duffaut P., Homand F. *Manual of rock mechanics. Volume 1. Foundations.* French Rock Mechanics Committee, 2000, 87. (In French)
- [5] Jacques L. *Geotechnique 1. Course Chapter 1.* National institute of applied sciences of Toulouse, 2006. (In French)
- [6] Sanat A., Zidani N. *Stability study of the the careerslopes of Ain El Kebira — Setif with regard to a circular slip.* Master thesis to obtain a master's degree. University Abderahmane Mira de Bejaia, 2015. (In French)
- [7] Sarout J. *Physical properties and anisotropy of clay rocks: micromechanical modeling and triaxial experiments.* PhD thesis Paris XI ORSAY University, 2006, 241. (In French)
- [8] Lavoisier M. *Contribution of geographic information systems to the quantitative analysis of landslide hazard. Example of application to the City of La Baie sector, Quebec.* Master's thesis of the University of Quebec INRS —ETE, 2003, 213. (In French)
- [9] Kotel'nikov A.E., D'yakonov V.V., Kotel'nikov E.E., Petrov A.S. Vydelenie perspektivnyh ploschadej i ih ocenka na osnove unikal'nogo kompleksa metodov. *Bulletin of Russian Peoples' Friendship University. Series: Engineering Researches.* 2012, No. 2, 102–106. (In Russ.)
- [10] Deere D.U. *Rock quality designation (RQD) after 20 years.* US Army Corps Contract Report. GL-89-1 Report. Vicksburg. MS: Experimental Station on Waterways. 1989. (In France)
- [11] Zhao J. *Properties of discontinuities. Part 3: Course of rock mechanics.* The Federal Polytechnic School of Lausanne, 2008. (In French)
- [12] Chalhoub M. *Contribution of numerical homogenization methods to the classification of fractured rock masses.* Doctoral Thesis. National School of Mines Paris, 2006, 206. (In French)
- [13] Maciej A. *Modification of mechanical classifications for rock massifs Schisteux.* Thesis of Master of Applied Sciences of the University of Montreal, Mining Engineering Specialty, 2012, 163. (In French)

Article history:

Received: September 14, 2018

Revised: October 27, 2018

Accepted: November 10, 2018

For citation:

Lamamra A., Kotelnikova E.M., Sergeev A.O. (2018). Characterization of the rock mass of the Boukhadra mine (Algeria). *RUDN Journal of Engineering Researches*, 19(4), 493–502. DOI 10.22363/2312-8143-2018-19-4-493-502

Bio Notes:

Abdessattar Lamamra — postgraduate student of the Department of Geology, Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geological structure of mineral deposits, studying the properties of rocks. *Contact information:* e-mail: lamamraabdessattar@gmail.com

Elena M. Kotelnikova — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior lecturer of the Department of Geology, Department of Mineral Development and Oil & Gas Engineering, Engineering Academy, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University). *Research interests:* geological structure of mineral deposits, studying the properties of rocks. *Contact information:* e-mail: kotelnikova_em@pfur.ru

Andrey O. Sergeev — master student of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). *Research interests:* geological structure of mineral deposits, studying the properties of rocks. *Contact information:* e-mail: sergo7777899@mail.ru