

Петрографическая характеристика гранито-гнейсовых валунов Усманского бора: к вопросу о происхождении «Кудеяровых камней» Воронежского биосферного заповедника

©2020 П. С. Бойко✉, А. Ю. Альбеков, О. Г. Резникова

*Воронежский государственный университет,
Университетская пл., 1, 394018, Воронеж, Российская Федерация*

Аннотация

Введение: Авторами статьи на территории ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В. М. Пескова» было исследовано местонахождение валунов, локализованных на достаточно ограниченной площади, в 8 км на северо-запад от Центральной усадьбы заповедника на склоне надпойменной террасы в правобережье реки Студенки в болотистой низине на небольшом удалении от русла. Валунуны представлены гранито-гнейсами и характеризуются сходным составом, однако, размеры и степень окатанности валунов различаются. Часть валунов задернована и погружена в грунт, что свидетельствует о значительном времени их залегания на местонахождении.

Методика исследования: С целью сохранности валунов для изучения были отобраны образцы из наименее крупного валуна. Прозрачно-полированные шлифы были изготовлены в двух проекциях: ортогонально гнейсоватости и в её плоскости. Исследование шлифов производилось с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX51 с последующим определением составов породообразующих минералов с использованием растрового электронного микроскопа Jeol 6380 LV с энергодисперсионным анализатором INCA 250.

Обсуждение результатов: Под микроскопом породы характеризуются лепидогранобластовой структурой. Пороодообразующие минералы свойственны для гранито-гнейсов и представлены в основном плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и кварцем, а также мелкочешуйчатый агрегатом биотита, образующим с полевым шпатом и кварцем характерные прорастания. Так же выявлено наличие аксессуарных граната, монацита, циркона, ильменита в виде включений в других минералах. Характер петрографического состава и взаимоотношения породообразующих минералов показывают значительное отличие от известных разновидностей кислых пород Воронежского кристаллического массива, что позволяет авторам с учетом интерпретации ряда факторов отдать предпочтение антропогенной версии местонахождения валунов.

Заключение: Для установления материнских пород для валунов характерными петрографическими признаками служат: а) вкрапленность гранатов, представленных как отдельными зернами, так и образующих крупные агрегаты альмандина; б) «пятнистая» текстура пород за счет отдельных удлиненных скоплений калиевого полевого шпата бледно-желтого цвета; в) обилие карбонатных жил разной мощности; г) взаимное прорастание биотита и кварца.

Ключевые слова: Кудеяровы камни, Воронежский заповедник, гранито-гнейсы, Восточно-Европейская платформа.

Для цитирования: Бойко П. С., Альбеков А. Ю., Резникова О. Г. Петрографическая характеристика гранито-гнейсовых валунов Усманского бора: к вопросу о происхождении «Кудеяровых камней» Воронежского биосферного заповедника // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2020. №4. С. 87–93. DOI: doi.org/10.17308/geology.2020.4/3131



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Бойко Павел Сергеевич, e-mail: plekhanov.lsk@mail.ru

Введение

На территории ФГБУ «Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В. М. Пескова», около 8 км на северо-запад от Центральной усадьбы в правобережье реки Студенки на склоне надпойменной террасы в болотистой низине на небольшом удалении от русла выявлено на достаточно ограниченной площади (20x20 метров) скопление валунов схожего петрографического состава, при этом наиболее крупные из них расположены более компактно и локализованы в 2–3 метрах друг от друга. Их размеры сильно разнятся и составляют от первых десятков сантиметров по длинной стороне до крупных блоков 2x1.5 метра. Значительная часть валунов задернована или погружена глубоко в грунт, что свидетельствует о значительном времени их залегания на местонахождении.

Местонахождение было обследовано авторами по приглашению главного специалиста по развитию Воронежского заповедника, кандидата биологических наук И.И. Воробьева. При детальном исследовании обнаружено 12 валунов в хаотично ориентированном расположении, при этом выявлены заболоченные понижения в рельефе, сходные с выемкой грунта, что дает основание предполагать возможное вмешательство человека в естественное расположение наименее крупных из встреченных камней, в то время как размер и положение остальных свидетельствует о низкой вероятности их перемещения. При этом нельзя не отметить четкую меридиональную ориентировку одного из самых крупных валунов. Он также выделяется достаточно правильной формой и расположением в около центральной части местонахождения (рис. 1, а, б).



Рис. 1. Положение валунов в местонахождении и понижение рельефа (а), центральный валун по длинной оси ориентирован субмеридионально (б).

[**Fig. 1.** The position and location of boulders in lowering relief (а), the central boulder along the long axis is oriented submeridionally (б).]

Актуальность настоящего исследования выражена в необходимости детального описания возможного нового для заповедника туристического объекта с целью обеспечения его сохранности и повышения привлекательности так называемых «Кудеяровых камней» Усманского бора Воронежского заповедника. Детальное изучение и минералого-петрографических особенностей валунов является неотъемлемой частью вышеуказанных работ и в дальнейшем может помочь установить природный источник валунов.

Размеры валунов сильно разнятся и составляют от первых десятков сантиметров по длинной стороне до крупных блоков 3x1.5 метра. Степень окатанности валунов по существующей градации составляет от почти угловатых до окатанных, в связи с чем по принятой классификации отдельные камни можно отнести к глыбовым валунам, валунам, глыбе и отлону (табл. 1). Значительная часть валунов задернована или погружена глубоко в грунт, что свидетельствует о значительном времени их залегания на ме-

стонахождении.

Все валуны имеют сходный петрографический состав и представлены гранитогнейсами с ярко выраженными гнейсовидной полосчатой, местами пятнистой текстурой, особо подчеркиваемой неравномерной степенью эродированности на наиболее выветрелых участках и средне-крупнокристаллической структурой. Так, например, фронтальный торец одного из валунов испещрен бороздами по гнейсоватости и является более выветрелым по сравнению с перпендикулярным ему. В породах ярко выделяются как крупные, до 2–3 см, агрегаты граната, так и вкрапленность отдельных зерен темно-красного цвета размером от 1 до 5 мм (рис. 2). По данным локальных рентгеноспектральных анализов гранат представлен альмандином. Следует отметить, что повсеместно в породах встречаются жилы карбонатного состава с хорошо образованными зернистыми агрегатами полупрозрачного кальцита бледно-желтого цвета. Мощность жил составляет от 1–2 до 5–7 см.

Табл. 1. Размер, азимут простирания и классификация валунов Усманского бора

[**Table 1.** Size Spread azimuth and measure of boulders of the Usmanskiy Pinewood forest]

№	Размер, м. [Size, meter]	Аз. Простирания [Spread azimuth]	Классификация [Measure]
1	1.1x0.6	-	глыбовый валун [block boulder]
2	2.5x0.9	-	глыбовый валун [block boulder]
3	0.72x0.65	227°	отлом [lump]
4	0.68x0.21	273 °	отлом (блок) [lump]
5	1.4x1.2	-	глыбовый валун [block boulder]
6	1.2x0.7	-	глыбовый валун [block boulder]
7	1.3x1.5	40°	глыбовый валун [block boulder]
8	0.95x0.7	-	валун [boulder]
9	1.9x0.9	35°	глыбовый валун [block boulder]
10	0.3x0.2	142°	валун [boulder]
11	0.2x0.1	41°	валун [boulder]
12	0.6x0.3	150°	валун [boulder]

Методика исследования

С учетом единообразия петрографического состава и с целью сохранности местонахождения для изучения были отобраны образцы из наименее крупного валуна, находящегося в некотором отдалении от общей группы. Прозрачно-полированные шлифы были изготовлены в двух проекциях: ортогонально гнейсоватости и в её плоскости. Исследование и фотографирование шлифов произведено с использованием поляризационного микроскопа Olympus BS51.

Исследования составов породообразующих минералов проведены с использованием растрового электронного микроскопа Jeol 6380 LV с энергодисперсионным анализатором INCA 250 в Центре коллективного пользования научным оборудованием ВГУ, аналитик Н.С. Базилов, к.г.-м.н. Изображения получены в отраженных электронах. Условия локальных анализов минералов: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток поглощения электронов на Cu 1-2 нА, диаметр зонда 200 нм, фокусное расстояние 10 мм. Пересчет данных локальных рентгеноспектральных анализов произведен с применением программного пакета MakeMineral в MS Excel.

Обсуждение результатов

Под микроскопом породы характеризуются лепидогранобластовой структурой. Форма зерен ксеноморфная, границы расплывчатые, неровные зачастую корродированы друг другом, также наблюдаются структуры распада и включения одних минералов в



Рис. 2. Вкрапленность крупных (до 2-3 см) агрегатов граната в гранитогнейсах.

[**Fig. 2.** Dissemination of large (up to 2-3 cm) garnet aggregates in granite gneisses.]

другие. Также наблюдаются структуры распада и включения одних минералов в другие, заметные как в скрещенных николях, так и в отраженных электронах. Породообразующие минералы свойственны для гранито-гнейсов и представлены в основном полевым шпатом, калиевым полевым шпатом и кварцем; темноцветные минералы составляют не более 30% и представлены в основном мелкочешуйчатым агрегатом биотита. Так же выявлено наличие акцессорных минералов в виде включений в других минералах: гранат, монацит и циркон, ильменит.

Полевые шпаты в большинстве своем представлены большей частью плагиоклазами – андезином или олигоклазом с подчиненной долей калиевых полевых шпатов (табл. 2). Первые образуют крупные неправильной формы зерна, порой трещиноватые и со следами катаклаза, с включениями игольчатых агрегатов биотита и мусковита. Калиевые полевые шпаты измененные, со следами серицитизации и пелитизации. Среди них выделяются более мелкие и свежие кристаллы микроклина с ярко проявленной, но местами деформированной решеткой, иногда с хорошо выраженной таблитчатой формой.

Кварц максимально прозрачный и свежий по сравнению с минералами полевых шпатов, встречается в виде двух морфологических разновидностей: ксеноморфных зерен размером 0.3–0.5 мм (реже до 1 мм), образующих локальные скопления диаметром 3–6 мм, и тонкозернистого агрегата в межзерновом пространстве.

Табл. 2. Данные локальных рентгеноспектральных анализов полевых шпатов
 [Table 2. Data from local X-ray spectral analyzes of feldspars]

	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	58.16	56.92	61.30	59.36	60.41	62.37	59.94	60.53
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	24.90	25.44	25.34	25.09	17.74	17.75	17.21	17.84
Fe ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0	0	0	0	0	0	0
CaO	7.22	6.33	6.15	6.97	0.34	0.31	0	0.35
Na ₂ O	7.43	7.04	8.87	7.97	2.27	2.99	2.11	1.53
K ₂ O	0	0.27	0.30	0	13.84	12.11	12.96	14.20
Сумма	97.71	96.00	101.96	99.38	94.60	95.53	92.22	94.44
An	34.94	32.64	27.27	32.58	1.62	1.54	0	1.75
Ab	65.06	65.70	71.15	67.42	19.63	26.87	19.84	13.82
Ort	0	1.66	1.58	0	78.75	71.59	80.16	84.43

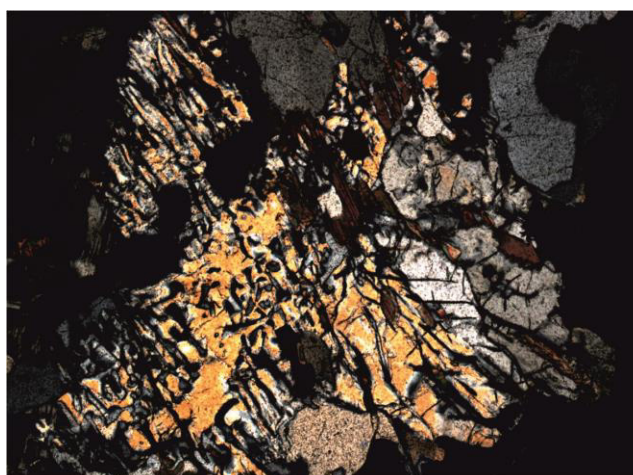
Биотит встречается в виде чешуек и пластинок ксеноморфной формы, в шлифах окрашенные в коричневый цвет. В основном биотит представлен магнезиальными разновидностями с различным содержанием железа и титана (табл. 3), равномерно распространен в породе, образует хорошо выраженные чешуйки, зачастую содержащие тонкие включения титаномагнетита и ильменита.

Породы ярко выделяются структурами распада и взаимным прорастанием минералов (рис. 3)

Гранаты представлены альмандином (табл. 4). В породах ярко выделяются как крупные, до 2–3 см, агрегаты, так и вкрапленность отдельных зерен темно-красного цвета размером от 1 до 5 мм. Важно отметить, что гранат встречается почти во всех исследуемых образцах и на отдельных участках его количество может достигать значений, характерных для породообразующих минералов.

Табл. 3. Данные локальных рентгеноспектральных анализов биотита
 [Table 3. Data from local X-ray spectral analyzes of biotite]

	1	2	3
SiO ₂	33.67	34.85	34.45
TiO ₂	2.90	2.30	4.04
Al ₂ O ₃	16.09	17.00	16.23
Fe ₂ O ₃	20.56	19.15	17.29
MnO	0	0	0
MgO	10.24	10.59	11.63
CaO	0	0	0
Na ₂ O	0	0	0.39
K ₂ O	9.25	9.39	9.68
Сумма	92.76	93.28	93.72
Phl	35.74	28.32	32.29
Ann	35.26	31.03	43.03
Sid	14.60	19.40	10.58
Eas	14.40	21.25	14.10



а



б

Рис. 3. Структуры распада биотит-кварцевого состава в гранитогнейсах.
 [Fig. 3. Structures of decay of biotite-quartz composition in granite gneisses.]

Остальные акцессорные минералы не образуют крупных зерен, обнаружены только при исследовании в отраженных электронах как микровключения в

породообразующих минералах. Так, например, **ильменит** содержится в виде вкрапленностей игольчатых зерен в кристаллах биотита и локализуется по направ-

лению спайности в чешуях, **монацит** встречается единичными вкраплениями с неправильной формой зерен размерами до 1 мм в кварце и гранате. **Циркон** также образует вкрапления изометричных зерен в кварце и гранате.

Табл. 4. Данные локальных рентгеноспектральных анализов и химический состав гранатов
[Table 4. Data from local X-ray spectral analyzes and chemical composition of garnets]

	1	2	3	4	5
SiO ₂	36.94	36.67	36.03	46.19	48.00
TiO ₂	0	0	0	0	0
Al ₂ O ₃	20.78	20.82	21.21	32.47	32.21
Fe ₂ O ₃	40.14	39.13	39.77	11.42	12.00
MnO	0	0.39	0.56	0.32	0
MgO	4.70	4.86	3.50	6.34	6.73
CaO	1.08	1.21	1.03	0	0
Na ₂ O	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0
Сумма	103.64	103.07	102.1	96.75	98.95
Pyg.	18.97	19.76	14.48	49.04	49.99
Alm.	77.90	75.81	81.14	49.55	50.01
Spess.	0	0.90	1.32	1.41	0
Andr.	0.51	0.59	0.42	0	0
Gross.	2.62	2.94	2.64	0	0
Uvar.	0	0	0	0	0

Характер петрографического состава и взаимоотношения породообразующих минералов показывают значительное отличие от известных разновидностей кислых пород Воронежского кристаллического массива: гранитов павловского и атаманского комплексов, гранито-гнейсов обоянского плутоно-метаморфического комплекса (ПМК) [1, 2, 3]. Дополнительно, большая мощность чехла в месте нахождения валунов исключает их принадлежность к местным образованиям и естественное обнажение данных пород в рельефе склона надпойменной террасы р. Студенки. Таким образом, наиболее дискуссионным остается вопрос происхождения валунов.

Несмотря на то, что Донской ледник занимал полностью территорию Окско-Донской низменной равнины, а Усманский бор расположен в зоне зандрового ландшафта [4], версия о ледниковых причинах переноса валунов с учетом локального характера их залегания и общности петрографического состава при значительной изменчивости размеров горных пород вызывает сомнения. Валунным и моренным ледниковым отложениям не свойственна сортировка, особенно по составу переотложенных обломков. Версия с переносом ледником одного большого валуна с последующим разрушением его на месте могла бы снять озвученные выше несоответствия, однако следует учитывать отсутствие на местонахождении следов других схожих ледниковых отложений. Приведенные факты позволяют отдать преобладающую роль в транспортировке и расположении камней антропогенному фактору: а именно переносу валунов человеком. С учетом значительной

удаленности местонахождения от современных транспортных путей и жилых районов в густом заповедном нехоженном лесу, расположение валунов в непосредственной близости от поймы и русла (50 метров) реки Студенки может указывать на водный путь их транспортировки.

Заключение

Оставив за скобками вероятные цели транспортировки камней (этот вопрос скорее является предметом археологии) важной задачей является установление возможного источника пород. Преобладающее южное направление течения рек Восточно-Европейской равнины, а также движения ледниковых масс (если предположить первичную мобилизацию валунов ледником) указывают, что им могут служить ближайшие выходы кристаллических пород на поверхность, в первую очередь в пределах Балтийского щита. При известном обилии разновидностей аналогичных изученным авторами настоящей статьи пород в пределах Карело-Кольского региона нахождение конкретного источника валунов Усманского бора становится сложной комплексной задачей, особенно с учетом наиболее вероятного антропогенного характера транспортировки камней на территорию современного местонахождения. Целью настоящего исследования является определение характерных минералогических признаков изученных разновидностей гранито-гнейсов для возможности установления материнских для валунов пород. Такими признаками могут послужить:

- а) вкрапленность гранатов, как отдельными зернами, так и в виде крупных агрегатов альмандина;
- б) «пятнистость» текстуры пород за счет отдельных удлиненных скоплений калиевого полевого шпата бледно-желтого цвета;
- в) обилие карбонатных жил разной мощности.
- г) взаимное прорастание биотита и кварца с образованием червеобразных восточков последнего.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов Н. М., Альбеков А. Ю., Рыборак М. В. О современном состоянии схемы стратиграфии и магматизма раннего докембрия Воронежского кристаллического массива // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2009. №2. С. 33–40
2. Савко, К. А., Холина, Н. В., Самсонов, А. В., Кориш, Е. Х., Червяковская, М. В., Базиков, Н. С., Ларионов, А. Н. Петротип неогарнейского атаманского комплекса гранитов Курского блока Сарматии: геохимия, геохронология, изотопная систематика. // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2020. №2. С.20–43.
3. Никитин А. В., Ненахов В. М. О происхождении гранитоидов павловского комплекса и их структурных преобразованиях на стадии консолидации коры // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология.* 2017. №3. С. 46–60.
4. Михно В. Б., Быковская О.П. Ледовый литоландшафтогенез Центрального Черноземья // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология.* 2002. №1. С. 35–43.

**Petrographic characteristics of the granite gneisses
of the Usmanskiy Pinewood forest: towards the origin of the
“Kudeyarov stones” in the Voronezh State Nature Biosphere Reserve**

©2020 P. S. Boyko[✉], A. Yu. Albekov, O. G. Reznikova

Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation

Abstract

Introduction: The article presents the results of a study of the location of boulders within the territory of the “V. Peskov Voronezh State Nature Biosphere Reserve”. The studied boulders are found in a rather limited area, 8 kilometres north-west from the Central Homestead of the Reserve, on the slope of a fluvial terrace on the right bank of the Studenka River. The area is a swampy lowland not far from the riverbed. The boulders are granite gneisses of similar compositions. However, they differ in their size and degree of roundness. Some of the boulders are covered with grass and buried in the ground, which indicates that they have been at the site for a long time.

Methodology: In order to preserve the natural objects, we took samples from the smallest boulder. We then prepared two projections of the transparent polished sections: one orthogonal to the gneiss texture direction and one in its plane. The sections were studied using an Olympus BX51 polarizing microscope. The composition of the rock-forming minerals was determined using a Jeol 6380 LV scanning electron microscope with an INCA 250 energy dispersive analysis system.

Results and discussion: The microscopic study demonstrated that the rocks have a lepidogranoblastic structure. The rock-forming minerals are typical of granite gneisses and mainly include plagioclase, potassium feldspar, and quartz as well as fine-grained biotite aggregate, which forms characteristic intergrowths with feldspar and quartz. The study also determined the presence of accessory minerals (garnet, monazite, zircon, and ilmenite) as inclusions within other minerals. The petrographic composition and the interaction between the rock-forming minerals differ significantly from those of the known varieties of felsic rocks of the Voronezh Crystalline Massif. This, along with some other factors, allows the authors to suggest that the boulders are of anthropogenic origin.

Conclusions: The characteristic petrographic features used for the determination of the boulders' parent rocks were the following: a) presence of garnets, both as individual grains and in the form of large almandine aggregates; b) "spotted" rock texture due to elongated accumulations of pale yellow potassium feldspar; c) abundance of carbonate veins of various thickness; d) intergrowth of biotite and quartz.

Keywords: Kudeyarov stones, Voronezh Reserve, granite gneisses, East European platform.

For citation: Boyko P. S., Albekov A. Yu., Reznikova O. G. Petrographic characteristics of the granite gneisses of the Usmanskiy Pinewood forest: towards the origin of “Kudeyarov stones” in the Voronezh State Nature Biosphere Reserve. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2020, no.4, pp. 87–93. DOI: doi.org/10.17308/geology.2020.4/3131

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Pavel S. Boyko, e-mail: plekhanov.lsk@mail.ru

REFERERNCES

1. Chernyshov N. M., Albekov A. Yu., Ryborak M. V. O sovremennom sostoyanii skhemy stratigrafii i magmatizma rannego dokembriya Voronezhskogo kristallicheskogo massiva [On the current state of the scheme of stratigraphy and magmatism of the Early Precambrian of the Voronezh crystalline massif] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2009, no. 2, pp. 33–40 (In Russ.)
2. Savko, K. A., Kholina, N. V., Samsonov, A. V., Korish, Ye. KH., Chervyakovskaya, M. V., Bazikov, N. S., Larionov, A. N. The petrotype of Neoproterozoic Atamansky granite complex (Kursk block, Sarmata: geochemistry, geochronology and isotopic taxonomy. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2020, no. 2, pp. 20–43. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2020.2/2857>
3. Nikitin A. V., Nenakhov V. M. On the origin of granitoids of the Pavlovsk complex and their structural transformations at the stage of crust consolidation. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2017, no. 3, pp. 46–60 (In Russ.)
4. Mihno V. B., Bykovskaya O. P. Ledoviy litolandshaftogenes Tsentralnogo Chernozem'ja [Glacier genesis of litholandscape of the Central Chernozem'e Region]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology*, 2002, no. 1, pp. 35–43 (In Russ.)

Бойко Павел Сергеевич – к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; E-mail: plekhanov.lsk@mail.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6367-1790>

Альбеков Александр Юрьевич – к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; E-mail: petrology@list.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8973-3547>

Резникова Ольга Григорьевна – к.г.-м.н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская Федерация; E-mail: reznikova_o@bk.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6255-9094>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Pavel S. Boyko – PhD in Geol-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: plekhanov.lsk@mail.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6367-1790>

Alexander Yu. Albekov – PhD in Geol-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: petrology@list.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0002-8973-3547>

Olga G. Reznikova – PhD in Geol-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: reznikova_o@bk.ru; ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6255-9094>

All authors have read and approved the final manuscript.