

Научная статья

УДК 550.424

DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-42-54

Сравнительный анализ химического состава породообразующих и акцессорных минералов гранита и дресвяников из динозавровых слоёв укурейской свиты урочища Кулинда в Восточном Забайкалье (Россия)

Георгий Александрович Юргенсон¹, Евгений Александрович Василенко²

^{1,2}Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения

Российской академии наук, г. Чита, Россия

¹yurgga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7818-7528>,

²mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию
07.10.2024

Одобрена после
рецензирования
21.10.2024

Принята к публикации
24.10.2024

Ключевые слова:

геохимия, минералогия,
граниты, кварц, полевые
шпаты, акцессорные
минералы, птицегазовые
динозавры, укурейская
свита, местонахождение
Кулинда, Восточное
Забайкалье

Актуальность исследования заключается в определении источников обломочного материала дресвяников и песчаников, слагающих существенную часть отложений укурейской свиты средней юры, вмещающих остатки самого древнего оперенного динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus*. Данные отложения являются составной частью разреза, сложенного переслаиванием дресвяников, песчаников, алевролитов, туфоалевролитов и хлидолитов. Они представлены фрагментом сохранившегося от эрозии опущенного блока укурейской свиты среди гранитов, тектонический контакт с которыми находится в непосредственной близости от динозавровых слоёв. Цель исследования – определение источника обломочного материала дресвяников. Объект исследования – отложения укурейской свиты и граниты в урочище Кулинда. Задача исследования – изучение состава породообразующих и акцессорных минералов гранитов и дресвяников отложений укурейской свиты в урочище Кулинда. Методы и методология исследования заключаются в отборе проб, сравнительном изучении минерального и химического состава горных пород, диагностике и изучении химического состава минералов методом электронной микроскопии ICPMS. Результаты исследования состоят в том, что на основе сравнительного анализа химического и минерального состава гранитов и дресвяников определена их близость. Кварц и полевой шпат гранитов и дресвяников характеризуются близостью состава, а усреднённые величины формульных коэффициентов кварца гранитов и дресвяников практически идентичны. Большинство индивидов кварца характеризуются стехиометричностью состава, обусловленной возмещением недостатка Si вхождением изоморфного Al и, реже, Ti и трёхвалентного Fe. Для K-Na полевого шпата типичны избыток суммы катионов и недостаток Si. Ассоциации акцессорных минералов дресвяников и гранитов (циркона, рутила, апатита, магнетита) и их химические составы близки. Для цирконов типичны избыток Zr при недостатке Si, примеси Fe и V в рутиле, дефицит Ca и P в апатите. Полученные данные доказывают, что дресвяники являются переотложенным продуктом выветривания гранитов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках реализации проекта № FUFР-2021-0005.

Original article

Comparative Analysis of the Chemical Composition of Rock-Forming and Accessory Minerals of Granite and Psephites from Dinosaur Layers of the Ukureyskaya Formation of the Kulinda Locality in Eastern Transbaikalia (Russia)

Georgy A. Yurgenson, Evgeny A. Vasilenko

^{1,2}*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia*

¹yurgga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7818-7528>, ²mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com

Information about the article

Received 7 October 2024

Approved after review
21 October 2024

Accepted for publication
24 October 2024

Keywords:

geochemistry, mineralogy, granites, quartz, feldspars, accessory minerals, ornithischian dinosaurs, Ukureya Formation, Kulinda locality, Eastern Transbaikalia

The relevance of the study lies in determining the sources of clastic material of gneiss and sandstones that make up a significant part of the sediments of the Middle Jurassic Ukurey Formation, which contains the remains of the most ancient feathered dinosaur, *Kulindadromeus zabaikalicus*. These deposits are a part of the section composed of interlayered gneiss, sandstones, siltstones, tuff siltstones and chertolites. They are represented by a fragment of a downed block of the Ukurey Formation preserved from erosion among granites, the tectonic contact with which is in close proximity to the dinosaur layers. The purpose of the study is to determine the source of clastic material from the woodlands. The object of study is the sediments of the Ukurey formation and granites in the Kulinda tract. The subject of the study is the mineral composition of the clastic fraction of these rocks. The objectives are presented by the study of the composition of rock-forming and accessory minerals of granites and gneiss deposits of the Ukurey Formation in the Kulinda tract. The method and methodology consist of sampling, comparative study of the mineral and chemical composition of rocks, diagnostics and study of the chemical composition of minerals using electron microscopy and ICP MS. The results of the study are based on a comparative analysis of the chemical and mineral composition of granites and gneiss, during which their proximity is determined. Quartz and feldspar of granites and gneiss deposits are characterized by similar composition; the average values of the formula coefficients for quartz of granites and gneiss deposits are almost identical. Most quartz individuals are characterized by stoichiometric composition, due to the compensation of the Si deficiency by the inclusion of isomorphic Al and, less commonly, Ti and trivalent Fe. For K-Na feldspar, an excess of the sum of cations and a deficiency of Si are typical. Associations of accessory minerals of gneiss and granites (zircon, rutile, apatite, magnetite) and their chemical compositions are similar. Zircons are characterized by an excess of Zr with a deficiency of Si, admixtures of Fe and V in rutile, and a deficiency of Ca and P in apatite. The data obtained prove that the gneiss deposits are a redeposited product of granite weathering.

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of project No. FUFRR-2021-0005.

Введение. Урочище Кулинда, где в отложениях укурейской свиты юрского возраста обнаружены ископаемые остатки наиболее древнего из известных представителей птицетазовых динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus*, находится в Чернышевском районе Забайкальского края (рис. 1).

К настоящему моменту в России известно 33 местонахождения динозавров [1]. Среди них урочище Кулинда занимает особое место, поскольку именно там найдены остатки самого древнего на планете оперенного птицетазового динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus* [4; 11; 12]. В местонахождении встречаются отпечатки разрозненных частей скелета, кожных покровов, чешуйчатых хвостов и перьеобразных структур [5]. Отложения, содержащие остатки этих динозавров, являются составной

частью разреза, состоящего из циклитов, сложенных переслаиванием дресвяников, песчаников, алевролитов, туфоалевролитов и хлестолитов. В зарубежной и отечественной литературе при изучении динозавровых местонахождений преимущественно делается упор на палеонтологическую часть [1; 4; 10–12], а геологические особенности территории (рис. 2) в широком смысле рассматриваются крайне недостаточно, хотя именно они дают возможность определить геологические условия возникновения новых видов живых организмов. Особенности геологического строения участка Оловской впадины, составной частью которой является блок отложений, вмещающих ископаемые остатки динозавровой фауны, отображены на Государственной геологической карте масштаба 1:200 000 [3] (см. рис. 2).



Рис. 1. Местонахождение урочища Кулинда / **Fig. 1.** Location of the Kulinda tract

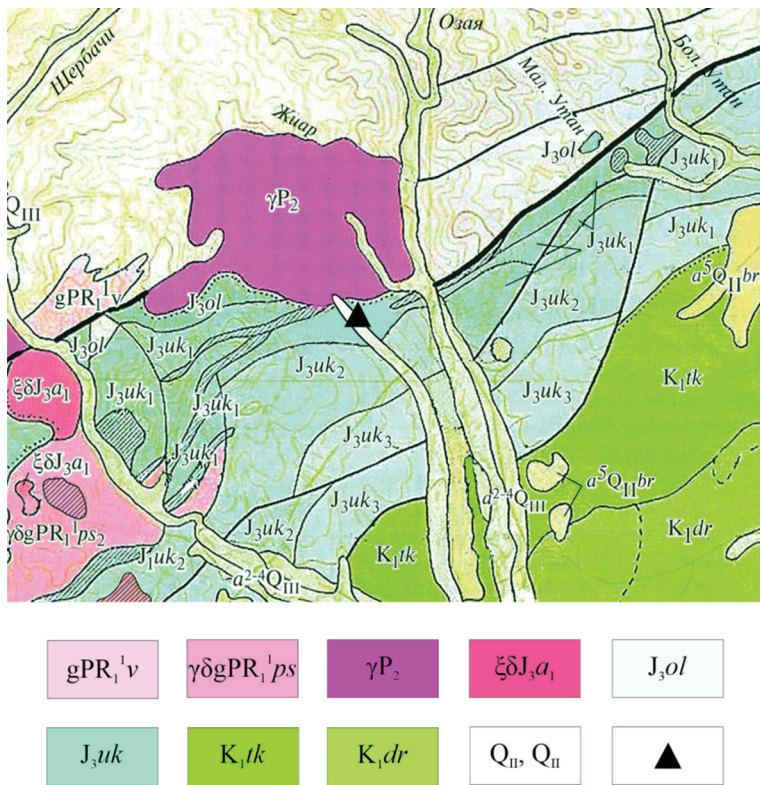


Рис. 2. Геологические условия нахождения урочища Кулинда с ископаемыми остатками динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus*: gPR_1^1v – раннепротерозойский комплекс метаморфических пород; $\gamma\delta gPR_1^1ps$ – раннепротерозойские гранодиориты, гнейсы (вторая фаза); γP_2 – позднепермские граниты фундамента; $\xi\delta J_3a_1$ – амуджиканский позднеюрский гранитный комплекс; J_3ol – оловская свита; J_3uk – укурейская свита; K_1tk – топакинская свита; K_1dr – доронинская свита; Q_{II}, Q_{III} – четвертичные плейстоценовые и голоценовые озёрно-речные отложения; ▲ – местонахождение динозавров Кулинда. Приведено по [7] с упрощением / **Fig. 2.** Geologic

conditions of the Kulinda tract with fossil remains of the dinosaur *Kulindadromeus zabaikalicus*: gPR_1^1v – early proterozoic metamorphic rock complex; $\gamma\delta gPR_1^1ps$ – early Proterozoic granodiorites, gneisses (second phase); γP_2 – late permian basement granites; $\xi\delta J_3a_1$ – amudzhikanlate jurassic granite complex; $\xi\delta J_3a_1$ – olovskaya formation; J_3ol – ukureyskaya formation; K_1tk – topakinskaya formation; K_1dr – doroninskaya formation; Q_{II}, Q_{III} – quaternary pleistocene and holocene lake-river sediments; ▲ – Kulinda dinosaur location. According to [7] with simplification

Тем не менее основные данные о геологических условиях нахождения, геологическом строении и стратиграфии терригенных и осадочно-вулканогенных пород, в которых находятся ископаемые остатки динозавров, а также о некоторых особенностях их геохимии опубликованы [2; 5–9]. Установлено, что снизу вверх возрастает доля псефитов, представленных дресвяниками и хлидолитами, свидетельствующими о нарастании неустойчивых гидродинамических условий осадконакопления и геологической среды в целом на фоне вулканической деятельности. Особенностью метаморфизованных в начальной стадии фации зелёных сланцев дресвяников и грубообломочной части хлидолитов является обилие обломков полевых шпатов, прежде всего микроклина, типичного для гранитоидов, вмещающих блок фрагмента укурейской свиты, содержащий динозавровые слои. В связи с этим и выполнено детальное сравнительное изучение химического и минерального состава этих отложений и вмещающих их гранитов, отделённых от них тектоническим швом (рис. 3).

Актуальность исследования заключается в необходимости определения источников обломочного материала дресвяников и песчаников, слагающих существенную часть разреза отложений укурейской свиты средней юры, вмещающих остатки самого древнего на планете оперенного птицетазового

динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus*. Отложения, содержащие остатки этих динозавров, являются составной частью разреза, состоящего из циклитов, сложенных переслаиванием дресвяников, песчаников, алевролитов, туфоалевролитов и хлидолитов, и представлены фрагментом опущенного и потому сохранившегося от эрозии блока укурейской свиты среди гранитов, тектонический контакт с которыми находится в непосредственной близости от динозавровых слоёв.

Объект исследования – дресвяники и другие крупнообломочные образования хлидолитов отложений укурейской свиты юрского возраста, а также граниты пермского возраста в урочище Кулинда.

Предмет исследования – химический и минеральный состав обломочной фракции дресвяников и хлидолитов отложений, заключающих ископаемые остатки динозавров горных пород, а также непосредственно породообразующие и акцессорные минералы данных горных пород и контактирующих с ними гранитов.

Цель исследования – определение источника обломочного материала дресвяников.

Задача исследования – изучение состава породообразующих и акцессорных минералов гранитов и дресвяников отложений укурейской свиты в урочище Кулинда.



Рис. 3. Один из фрагментов тектонического контакта гранита и дресвяника /
Fig. 3. One of the fragments of the tectonic contact of granite and psephites

Материалы и методы исследования.

В работе использован каменный материал, отобранный по разрезу толщи слоёв и слоёв, включающий все разновидности горных пород, слагающих их. Общее число отобранных многослойных штуфов и гранита составило 65, из которых изготовлено 140 шлифов и аншлифов, а также 14 полировок. С целью сравнительного изучения гранитов и дресвяников отобраны пробы для изготовления проточек. В лаборатории Лабораторно-исследовательского центра по изучению минерального сырья выполнено 14 силикатных анализов, включая дресвяники и граниты, 50 проб проанализированы методом ICPMS на 56 элементов. Шлифы и аншлифы изучены методом оптической спектроскопии на поляризационном микроскопе AXIOScopeAI и электронном микроскопе LEO 1430VP (аналитики – канд. геол.-минерал. наук Е. А. Хромова и Е. В. Ходырева, Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории – канд. техн. наук С. В. Канакин). Использовано более 300 точек измерения минералов, а также промежуточных фаз в изоморфных рядах.

Разработанность темы исследования. Задача, впервые поставленная нами, ранее не разрабатывалась, поскольку в этом не видели необходимости. Следует отметить, что разрез, слагающие его горные породы, последовательность их напластований, некоторые особенности их геохимии и минерального состава освещены в проведённых ранее исследованиях, например в работах С. М. Синицы и других авторов [2; 5; 6; 8].



Рис. 4. Дресвяник, содержащий обломок гранита и перекрытый алевролитом. На контакте его с обломком гранита цемент замещён гидроксидами железа / **Fig. 4.** Psepchite containing a granite fragment and overlapped with siltstone. Cement is replaced by iron hydroxides when it contacts with the granite fragment

Рис. 5. Переслаивание дресвяника, серого и жёлтого туфоалевропесчаника и линзы хлидолита. Обр. 14кд. Канавка 3. Слой 5. 10×5 см / **Fig. 5.** Interlayering of psepchite, grey and yellow tuffaleuro sandstone and chlidolite lens. Sample. 14kd. Ditch 3. Layer 5. 10×5 cm

Результаты исследования и их об- суждение. Примерно в 100 м от канавы 4 обнажается тектонический контакт дресвяников и гранитов (см. рис. 3), где чётко виден переход от гранитов к пологозалегающему слою грубообломочного дресвяника гранитного состава. В самой канаве они не вскрыты, т. к., вероятно, залегают ниже её дна, где вскрыты песчаники с редкими тонкими слоями хлидолитов и алевролитов, пелитовых туффи- тов, содержащих остатки растений и редкие фрагменты костей динозавра.

Структура гранита – порфировидная ги- пидиоморфнозернистая катакластическая. Он состоит из калиевого полевого шпата (55– 70 %), кварца (25–30 %), альбит-олигоклаза (5–7 %), мусковита и гидратированного био- тита (5–7 %). Согласно минеральному соста- ву и облику гранит относится к умеренно-щел- очному лейкограниту. Акцессорные минера- лы представлены цирконом, монацитом, ксе- нотимом, рутилом, магнетитом, титанитом.

Гранит характеризуется интенсивной трещиноватостью, обусловленной как катак- лазом, так и процессами выветривания.

Дресвяники в разрезе отложений укурей- ской свиты в местонахождении Кулинда слага- ют как нижнюю часть разреза, так и основания циклитов, сложенных (снизу вверх) песчани- ками, алевролитами, туфоалевролитами. Они содержат также хлидолиты с включениями об- ломков полевых шпатов и кварца, образовав- шихся в результате разрушения этих палеозо- йских гранитов. Облик дресвяников и взаимо- отношений их с алевролитами и положением в хлидолитах показан на рис. 4 и 5.



Дресвяники характеризуются бластофитовой структурой, сложенной обломками (0,3–1,5 см) калиевого полевого шпата (до 65 %), альбита (до 10 %), замещающего плагиоклазы с выносом части натрия и калия, темнотыччатого кварца (до 35 %), иногда мелкозернистого аплита (2–5 %). Слабоизменённые слюды в основном отсутствуют или интенсивно гидратированы и замещены иллитом. Цемент обычно базальный, иногда – сгустковый, сложенный тонко-мелкозернистыми агрегатами халцедоновидного кварца (рис. 6) и слоистых силикатов, сросшихся с гидроксидами железа, содержащими тончайшие включения апатита, тонкие просечки халцедоновидного

кварца, окисленного сидерита. Весь биотит в цементе интенсивно гидратирован с образованием не только иллита, но и феррогаллуазита. Присутствует развивающийся по нему новообразованный железистый хлорит. Здесь же имеется и альбит.

В ряде случаев цемент в дресвянике представлен опалом, облекающим как крупные обломки гранит-порфира и вкрапленники дымчатого кварца (рис. 7), состоящие из кварца, калиевого полевого шпата, альбито-олигоклаза из мусковита, так и мелкие разрозненные кусочки этих минералов. Опал также содержит мелкие включения карбоната, гидрогематита и гетита.

Рис. 6. Дресвяник с крупными обломками кварца и относительно мелкими микроклинами в халцедоновом цементе. Шл. 1. Слой 1. Канавка 3. Николи скрещены / **Fig. 6.** Psephite with large fragments of quartz and relatively small microclines in chalcedony cement. Schl. 1. Layer 1. Ditch 3. Nicol crossed

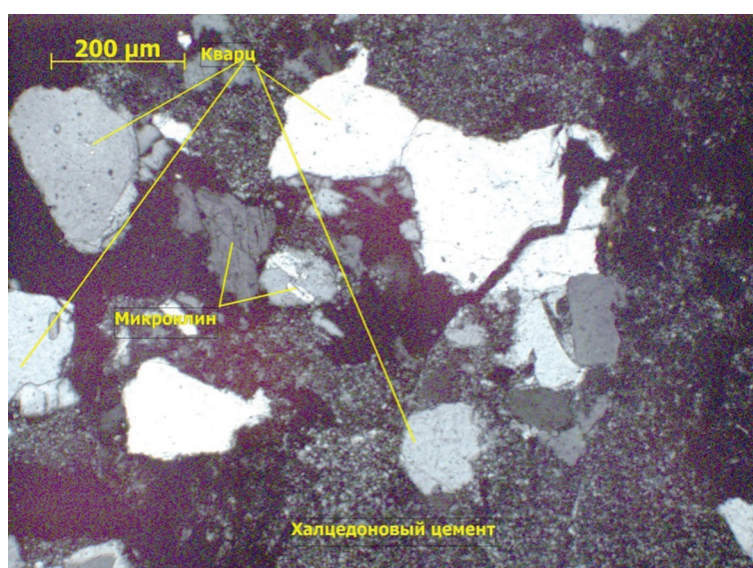
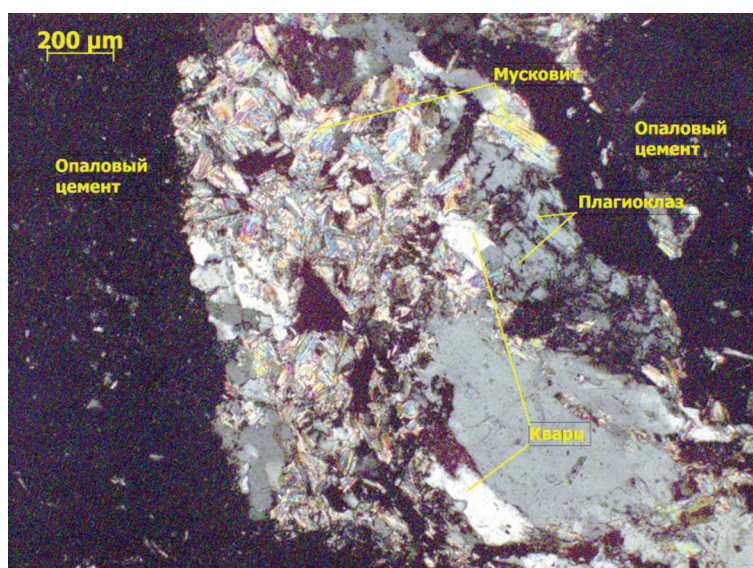


Рис. 7. Дресвяник с опаловым цементом. Шл. 7кд. Канавка 3. Слой 3. Николи скрещены / **Fig. 7.** Psephite with opalescent cement. Schl. 7kd. Ditch 3. Layer 3. Nicol crossed



Обломочная часть акцессорных минералов представлена цирконом, монацитом, ксенотимом, рутилом, магнетитом, гематитом, гидрогематитом, лейкоксеном по титаниту, редко алланитом.

Для определения источников обломочной части дресвяников выполнен сравнительный анализ особенностей породообразующих и акцессорных минералов их и гранитов, контактирующих с опущенным блоком отложений укурейской свиты (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 показывает, что в дресвяниках в целом наблюдается уменьшение содержания кремнезёма, калия, закисного железа, марганца, магния, кальция, натрия и калия. При этом содержание калия уменьшается крайне незначительно, что связано с устойчивостью калиевого полевого шпата, содержание которого уменьшается незначительно. Существенное уменьшение содержания кальция обусловлено разложением плагиоклаза на кальцит и альбит с его выносом в коре выветривания. Уменьшение содержания магния связано с гидратацией биотита и частичным его выносом в зоне окисления, но в дресвянике он связан не только с продуктами выветривания биотита, но и с новообразованным хлоритом.

Увеличение доли окисного железа в дресвянике обусловлено присутствием в цементе гидроксидов железа в глинистом мате-

риале, а также окислением железа биотита в процессе его гипергенной гидратации, окислением акцессорного магнетита. Возрастные содержания фосфора и титана связано с накоплением рутила, ильменита, титанита, а также апатита в тяжёлой фракции гранитной дресвы.

Анализ данных табл. 2, в которой приведены содержания главных элементов-примесей в дресвяниках и гранитах, показал, что различная мера их вторичных изменений, прежде всего окварцевания и содержания гидроксидов железа, обуславливает их обогащённость ими. Для гранитов, находящихся вблизи отложений укурейской свиты, слагающих разрез её в урочище Кулинда, характерно лишь незначительное превышение свинца в сравнении со средним содержанием в земной коре (коэффициент концентрации Кк равен 1,12). Средние содержания мышьяка (Кк=7,82) и висмута (Кк=22,2) в граните многократно превышают средние содержания в земной коре, сурьмы – в 1,5 раза. Приведённые химические элементы в существенно больших количествах содержатся и в дресвяниках. При этом в дресвяниках без видимых постдиагенетических изменений лишь свинец накапливается в количествах, незначительно больших, чем содержания в земной коре (Кк=1,75). Не типичны для них, как и для гранитов, кобальт и никель.

Таблица 1 / Table 1

Сравнение данных силикатного анализа гранита и дресвяников /
Comparison of data of silicate analysis of granite and psephites

№ п/п / Sequence number	№ проб / Sample number	Горная порода / Rock	Компоненты (масс. %) / Components (wt. %)												
			SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O _{3ок}	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
1	25кд	Дресвяник / Psephite	70,66	0,34	14,70	3,94	0,18	0,026	<0,15	0,50	0,30	2,96	0,09	5,26	98,95
2	36 кд-2	Дресвяник / Psephite	68,30	0,32	15,10	5,05	0,10	0,144	0,12	0,50	0,36	3,97	0,12	5,43	99,51
3	Прото- лочка1 / Pushing	Дресвяник / Psephite	74,92	0,27	14,83	1,08	0,25	0,030	0,10	0,22	0,30	3,52	0,08	3,98	99,58
4	Прото- лочка2 / Pushing	Гранит / Granite	75,68	0,12	13,32	0,66	0,38	0,035	0,18	1,19	3,62	4,19	0,02	0,38	99,77

Таблица 2 / Table 2

Элементы-примеси в гранитах и дресвяниках / Element-impurities in granite sand psephites

Особенность дресвяника / Psephite features	Статистический параметр / Statistical parameter	Элемент и его содержание, г/м / Element and its content, g/t							
		Zn	Pb	Cu	Ni	Co	As	Sb	Bi
Без видимых изменений / No visible changes	n	4	4	4	4	4	4	4	4
	x	23	28	16	12	2,87	40	3,62	0,38
	σ	11	8	10	8	0,55	8	0,89	0,09
	Kк	0,28	1,75	0,34	0,21	0,16	23,5	7,24	4,2
Слабо окварцованный / Weakly silicified	n	7	7	7	7	7	7	7	7
	x	60,5	27,7	37,3	13,7	3,23	105	6	0,61
	σ	18,6	8	31,6	5,7	3,99	60	3,4	0,39
	Kк	0,73	1,7	0,79	0,24	0,18	61,8	12	68
Окварцованный / Silicified	n	3	3	3	3	3	3	3	3
	x	209	33,7	164	14,7	14,2	170,3	7,03	1,37
	σ	184	28	184	7,6	28	126	3,5	1,09
	Kк	2,51	2,11	3,49	0,25	0,79	100,2	14,6	152
В разной мере окварцованный с гидроксидами Fe / Variably silicified with Fehydroxides	n	6	6	6	6	6	6	6	6
	x	131,9	29,5	88,5	29	16,46	110	5,47	0,78
	σ	104,6	20	144	16	16	103,5	2,9	0,94
	Kк	1,58	1,84	1,88	0,5	0,91	64,7	10,94	86,7
Среднее для дресвяника / Average for psephites	n	17	17	17	17	17	17	17	17
	x	103,5	28,5	50,2	18,7	7,81	74	5,6	0,62
	σ	132,02	18,6	88	12,9	11,4	55	2,9	0,6
	Kк	1,59	1,78	1,06	0,32	0,43	43,5	11,2	68,9
Гранит / Granite	n	3	3	3	3	3	3	3	3
	x	17	18	39	9	1,2	13,3	0,75	0,2
	σ	1	2,3	52	3	0,1	5,8	0,44	0,1
	Kк	0,2	1,12	0,83	0,15	0,07	7,82	1,5	22,2

Примечание: n – число проб; x – среднее арифметическое; σ – среднеквадратичное отклонение; Kк – коэффициент концентрации / Note: n – number of samples; x – arithmetic mean; σ – standard deviation; Kк – concentration coefficient.

Анализ данных табл. 2 свидетельствует о том, что содержания всех приведённых в ней химических элементов возрастают по мере интенсивности изменений, прежде всего окварцевания. Для мышьяка в слабо окварцованных дресвяниках Kк составляет 61,8 а в окварцованных – 100,2, в этом же направлении для сурьмы Kк возрастает от 12 до 14,6 и для висмута от 68 до 152, а в присутствии в них гидроксидов железа они независимо от степени окварцевания также велики, но несколько снижаются, составляя 64,7, 10,94 и 86,7 соответственно. При этом такая же тенденция присуща и изменениям содержания цинка, свинца, меди. Коэффициент концентрации никеля и кобальта в дресвяниках, обогащённых гидроксидами железа, максимален, но не достигает единицы. Высокие содержания мышьяка, сурьмы и висмута указывают на возможные признаки наложенного золотого оруденения. На это показывают содержания серебра до 0,32 г/т и золота до 0,009 г/т в переслаивающихся с ними туфалевролитах.

Сравнение минерального состава дресвяников и гранитов. В результате изучения минерального состава гранитов и дресвяников, а также кварца и полевого шпата, переслаивающихся с дресвяниками хлидолитов и песчаников, установлено, что их источниками являются позднепермские граниты фундамента. Химические составы основных породообразующих кварца и полевых шпатов, а также акцессорных минералов гранита и дресвяников достаточно близки.

Полевые шпаты представлены как в гранитах, так и дресвяниках микроклином и, редко, ортоклазом. В обеих группах полевых шпатов отсутствует обломочный альбит. Все калиевые полевые шпаты подразделяются на две группы: содержащие изоморфные примеси железа, марганца и титана, замещающие алюминий, и не содержащие их. Из 21 индивида калиевых полевых шпатов гранитов 23,8 % содержат эти примеси, тогда как из 23 индивидов дресвяников – лишь 3 (13 %). Барий отмечен в 2 (9,5 %) индивидах гранитов и в 4 (17 %) дресвяниках. В одном инди-

виде калиевого полевого шпата из дресвяников отмечен стронций.

Одним из важных признаков близости или различий в химическом составе полевых шпатов является их изменчивость, варьирующаяся в зависимости от условий образования, которая проявляется, прежде всего, в соотношении катионной и анионной части, а именно калия и натрия. Это отражается в величине формульных коэффициентов калия, средние значения которых для изученных кали-натровых полевых шпатов находятся в пределах 1,012 для гранитов и 0,99 для дресвяников. При этом для всех кали-натровых полевых шпатов выявлен избыток суммы катионов натрия и калия при вариации суммы от 1,073 до 1,117 для гранитов и от 1,032 до 1,121 дресвяников. Типичные формулы кали-натровых полевых шпатов приведены в табл. 3. Таким образом, анализ химического состава кали-натровых полевых шпатов биотитовых гранитов пермского возраста, прежде всего микроклина, и отложений укурейской свиты, залегающих в контакте с ними, свидетельствует об их сходстве.

Кварц. Содержание кварца в гранитах достигает 30 %. Обычно зёрна его неидiomорфны, и он занимает инстерстиционные позиции, выделяясь после калиевых полевых шпатов. Макроскопически кварц представля-

ет собой в основном дымчатые и тёмнодымчатые его разновидности. Размеры их составляют 0,5–2,0 мм. Из 28 измеренных индивидов 18 (35,7 %) содержат изоморфные примеси алюминия, из них 5 содержат наряду с ним железо, а в 2 определено присутствие титана. Беспримесные индивиды кварца при чувствительности анализа 0,01 % составляют 35,7 % (табл. 4).

Особенностью кварца дресвяников и слоек песчаников или алевролитов в них является возрастание доли кварца по сравнению с калиевыми полевыми шпатами, которая в собственно дресвяниках возрастает до 35–40 %, а в песчаниках и алевролитах – до 65 %. При этом уменьшается доля индивидов, содержащих примеси железа и титана. Сравнительный анализ числа индивидов кварца, содержащих изоморфные примеси железа и титана (6,5 % среди индивидов в граните и 4 % в дресвяниках), указывает на их сходство. Это же относится и к долям индивидов кварца, содержащим в качестве изоморфной примеси лишь алюминий (соответственно 49,6 и 55,5 %), что совершенно чётко отражается на цвете обломочного кварца, обычно дымчатого или тёмнодымчатого. Доли индивидов без примесей в гранитах и дресвяниках (соответственно 31,25 и 36,11 %) также достаточно близки.

Таблица 3 / Table 3

Сравнение состава полевых шпатов гранитов и дресвяников / Comparison of feldspar composition of granites and psephtites

Граниты / Granites	Дресвяники и их слои в хлидолитах / Psephtites and their puffs in chlidolites
$K_{0,984}Na_{0,096}(Al_{0,974}Fe_{0,018})\Sigma_{0,992}Si_{2,99}O_8$	$(K_{0,972}Na_{0,092})\Sigma_{1,064}(Al_{0,993}Fe_{0,023})\Sigma_{1,016}Si_{2,978}O_8$
$(K_{1,063}Ba_{0,01})\Sigma_{1,073}(Al_{0,985}Fe_{0,012})\Sigma_{0,997}Si_{2,984}O_8$	$(K_{1,025}Ba_{0,017}Na_{0,036})\Sigma_{1,078}Al_{1,013}Si_{2,996}O_8$
$K_{1,011}Na_{0,099}(Al_{0,971}Fe_{0,017})\Sigma_{0,988}Si_{2,985}O_8$	$(K_{0,987}Na_{0,095})\Sigma_{1,082}Al_{0,967}Si_{3,004}O_8$
$K_{1,05}Na_{0,067}(Al_{0,982}Ti_{0,018})(Si_{2,959}Al_{0,009})_{2,968}O_8$	$(K_{0,991}Na_{0,111})\Sigma_{1,102}Al_{0,969}Si_{2,997}O_8$
$K_{0,981}Na_{0,098}Al_{0,979}Si_{2,996}O_8$	$(K_{1,014}Na_{0,099})\Sigma_{1,113}Al_{0,962}Si_3O_8$
$K_{0,983}Na_{0,106}Al_{0,975}Si_{2,997}O_8$	$(K_{1,025}Na_{0,038})\Sigma_{1,063}Al_{0,967}Si_{3,004}O_8$
$K_{0,99}Na_{0,116}Al_{0,972}Si_{2,994}O_8$	$(K_{1,075}Na_{0,046})\Sigma_{1,121}Al_{0,958}Si_{2,995}O_8$
$K_{1,028}Na_{0,085}Al_{0,958}Si_{3,003}O_8$	$K_{0,959}Al_{0,844}Si_{3,127}O_8$
$K_{1,05}Na_{0,079}Al_{0,982}Si_{2,981}O_8$	$K_{1,015}Al_{0,95}Si_{3,009}O_8$
$K_{1,079}Al_{0,976}Si_{3,005}O_8$	–

Таблица 4 / Table 4

Примеры формул химического состава кварца / Examples of formulas for the chemical composition of quartz

Граниты / Granites	Дресвяники / Psephtites
$(Si_{0,957}Al_{0,056}Ti_{0,006}Fe_{0,003})\Sigma_{1,022}O_2$	$(Si_{0,952}Al_{0,041}Ti_{0,003})\Sigma_{0,996}O_2$
$(Si_{0,963}Al_{0,034}Ti_{0,009}Fe_{0,006})\Sigma_{1,012}O_2$	$(Si_{0,956}Al_{0,039}Ti_{0,003})\Sigma_{0,998}O_2$
$(Si_{0,957}Al_{0,056}Ti_{0,006})\Sigma_{0,9992}$	$(Si_{0,958}Al_{0,046}Ti_{0,004})\Sigma_{1,008}O_2$

Окончание табл. 4 / The end of the table 4

Граниты / Granites	Дресвяники / Psephites
$(\text{Si}_{0,963}\text{Al}_{0,034}\text{Ti}_{0,009})\Sigma_{1,006}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,937}\text{Al}_{0,064})\Sigma_{1,021}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,987}\text{Al}_{0,016}\text{Fe}_{0,002})\Sigma_{1,005}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,95}\text{Al}_{0,067})\Sigma_{1,017}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,974}\text{Al}_{0,034})\Sigma_{1,008}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,963}\text{Al}_{0,043})\Sigma_{1,006}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,975}\text{Al}_{0,034})\Sigma_{1,009}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,975}\text{Al}_{0,022})\Sigma_{0,997}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,978}\text{Al}_{0,03})\Sigma_{1,008}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,977}\text{Al}_{0,003})\Sigma_{0,98}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,98}\text{Al}_{0,026})\Sigma_{1,006}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,984}\text{Al}_{0,021})\Sigma_{1,005}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,986}\text{Al}_{0,019})\Sigma_{1,005}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,986}\text{Al}_{0,018})\Sigma_{1,003}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,991}\text{Al}_{0,011})\Sigma_{1,002}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,992}\text{Al}_{0,004})\Sigma_{0,996}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,992}\text{Al}_{0,011})\Sigma_{1,003}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,992}\text{Al}_{0,011})\Sigma_{1,003}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,992}\text{Al}_{0,011})\Sigma_{1,003}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,992}\text{Al}_{0,01})\Sigma_{1,002}\text{O}_2$
$(\text{Si}_{0,996}\text{Al}_{0,003})\Sigma_{1,001}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,996}\text{Al}_{0,006})\Sigma_{1,003}\text{O}_2$
Si_1O_2	$\text{Si}_{0,999}\text{O}_2$
Si_1O_2	$\text{Si}_{0,999}\text{O}_2$
Si_1O_2	Si_1O_2
Si_1O_2	Si_1O_2
Si_1O_2	Si_1O_2
Усреднённая формула / Average formula	Усреднённая формула / Average formula
$(\text{Si}_{0,980}\text{Al}_{0,023})\Sigma_{1,003}\text{O}_2$	$(\text{Si}_{0,978}\text{Al}_{0,023})\Sigma_{1,001}\text{O}_2$

Усреднённые величины формульных коэффициентов кремния и алюминия в кварце достаточно близки, как и сами формулы, что указывает на достаточно высокую вероятность идентичности обломочного кварца в дресвяниках и гипогенного кварца палеозойских гранитов.

В отличие от обломочного, кварц, составляющий часть новообразованного цемента дресвяников, а также переслаивающихся с ними песчаников, алевролитов и туфоалевролитов, частью секущих их, содержит в качестве изоморфной примеси трёхвалентное железо, а доля такого кварца может достигать 50 %.

Акцессорные минералы. Одним из часто встречающихся акцессорных минералов в гранитах является циркон. Изучено 33 инди-

вида. В обломочных горных породах исследовано 29 индивидов циркона. Из них доля безгафниевого в гранитах составила 54 % в гранитах и 10,3 % в обломочных. При этом в обломочных породах не обнаружены индивиды циркона, содержащие торий или уран. Расчёт средних значений формульных коэффициентов, соответствующих вариациям химического состава циркона, показал их близость независимо от принадлежности гранитам или дресвяникам (табл. 5).

Другой важной их особенностью является избыток циркония по сравнению с кремнием. При этом в целом катионная часть всех проанализированных индивидов остаётся в пределах 1,008–1,035 значений формульных коэффициентов.

Таблица 5 / Table 5

Сравнение усреднённых составов акцессорных минералов в граните и дресвянике / Comparison of averaged compositions of accessory mineral singranite and psephites

Формулы / Formulas					
граниты / granites			дресвяники / psephites		
циркон / zircon			циркон / zircon		
весь массив / entire array	без примесей / no impurities	с гафнием / with gafnium	весь массив / entire array	без примесей / no impurities	с гафнием / with gafnium
$\text{Zr}_{1,023}\text{Si}_{0,966}\text{O}_4$	$\text{Zr}_{1,027}\text{Si}_{0,971}\text{O}_4$	$\text{Zr}_{1,02}\text{Hf}_{0,013}\text{Si}_{0,964}\text{O}_4$	$\text{Zr}_{1,017}\text{Si}_{0,977}\text{O}_4$	$\text{Zr}_{1,018}\text{Si}_{0,977}\text{O}_4$	$\text{Zr}_{1,017}\text{Hf}_{0,013}\text{Si}_{0,976}$
Рутил / Rutile			Рутил / Rutile		
$\text{Ti}_{0,914}\text{V}_{0,008}\text{Fe}_{0,015}\text{O}_2$			$\text{Ti}_{0,908}\text{V}_{0,009}\text{Fe}_{0,021}\text{O}_2$		
Апатит / Apatite			Апатит / Apatite		
$\text{Ca}_{4,821}[(\text{P}_{2,827}\text{Si}_{0,037})\Sigma_{2,864}\text{O}_4]_3\text{F}_{0,877}$			$\text{Ca}_{4,734}[(\text{P}_{2,868}\text{Si}_{0,028})\Sigma_{2,896}\text{O}_4]_3\text{F}_{1,403}$		

Выводы.

1. По особенностям микроэлементной специализации палеозойские граниты и дресвяники укурейской свиты юрского возраста, залегающие в непосредственной близости от тектонически нарушенного фрагмента борта Ононской впадины (см. рис. 2), являющегося опущенной частью осадочной толщи отложений, содержащих ископаемые остатки птицетазового динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus*, весьма близки.

2. Отличия в содержаниях наблюдаются только в окварцованных разностях дресвяников, в цементе которых присутствуют новообразованный кварц и гидроксиды железа, развивающиеся по сидериту и новообразованным слоистым силикатам. Как видно из табл. 2, содержания примесных элементов, особенно мышьяка, сурьмы и висмута, возрастают по мере интенсивности окварцевания дресвяников.

3. Кварц и полевой шпат, представленный в гранитах и дресвяниках исключительно микроклином с небольшой примесью ортоклаза, также характеризуются близостью состава, при этом усреднённые величины формульных коэффициентов кварца гранитов и дресвяников практически идентичны (см. табл. 4). Для большинства изученных индивидов кварца типична примесь алюминия,

обуславливающая в условиях относительно высоких содержаний урана [2] их дымчатую или тёмнодымчатую окраску. В целом для большинства индивидов кварца отмечается стехиометричность состава, обусловленная возмещением недостатка кремния вхождением в его структуру алюминия, реже титана и трёхвалентного железа. Для кали-натрового полевого шпата типичны избыток суммы катионов и недостаток кремния.

4. Сравнительный анализ ассоциации акцессорных минералов дресвяников и гранитов (циркона, рутила, апатита, магнетита) показал их идентичность. Близки и химические составы. Для цирконов типичен избыток циркония при недостатке кремния, для рутила определены примеси железа и ванадия, а в апатите установлен дефицит кальция и фосфора, который замещается кремнием.

5. Все полученные новые данные о химическом составе породообразующих и акцессорных минералов гранитов и обломочного материала дресвяников укурейской свиты свидетельствуют об их близости и о том, что дресвяники являются переотложенным продуктом выветривания гранитов пермского возраста, контактирующих с отложениями юрского возраста, содержащими ископаемые остатки динозавров и сопутствующей биоты.

Список литературы

1. Аверьянов А. О. Динозавры России // Меловая система России и ближнего зарубежья: проблемы стратиграфии и палеогеографии: материалы IX Всерос. совещания / под ред. Е. Ю. Барабошкина, Т. А. Липницкой, А. Ю. Гужикова. Магадан, 2018. С. 17–20.
2. Василенко Е. А., Юргенсон Г. А., Сеница С. М., Решетова С. А. Первые данные о содержании тория и урана в отложениях, вмещающих остатки динозавра *Kulindodromeus zabaikalicus* // Аспирант. 2018. Т. 12, № 2. С. 8–14.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Олёкминская. Лист N-50-XXXIII (Утан). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019.
4. Сеница С. М. Новые данные о динозаврах Забайкалья // Природоохранное сотрудничество в трансграничных экологических регионах: Россия – Китай – Монголия. Чита, 2011. С. 173–176.
5. Сеница С. М. Типы захоронений остатков динозавров в Оловской впадине Забайкалья // Естественные и технические науки. 2020. № 9. С. 81–90.
6. Сеница С. М., Василенко Е. А., Вильмова Е. С. Литологические и палеонтологические индикаторы климата в мезозое Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 1. С. 60–67. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-60-67.
7. Сеница С. М., Вильмова Е. С., Годефруа П. Юрские динозавры Восточного Забайкалья. Поиски. Находки. Исследования. Новосибирск: Наука, 2024. 536 с.
8. Сеница С. М., Решетова С. А., Вильмова Е. С. Гипостратотипы укурейской свиты Новоберезовской и Оловской впадин Забайкалья (часть 1. Гипостратотип-1 укурейской свиты Новоберезовской впадины) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2017. Т. 23, № 6. С. 52–62.
9. Юргенсон Г. А., Василенко Е. А., Сеница С. М., Решетова С. А. Литолого-петрографические и геохимические особенности отложений укурейской свиты местонахождения динозавров *Kulindodromeus zabaikalicus* как критерии состояния палеоландшафта // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Чита, 2016. С. 44–48.

10. Bolotsky Y. L., Sizov A. V., Sinitsa S. M. New data on the ropods (Dinosauria: Theropoda) from Transbaikalia // Abstracts. Shenyang. China, 2015. P. 105–108.

11. Cincotta A., Pestchevitskaya E. B., Sinitsa S. M., Markevich V. S., Debaille V., Reshetova S. A., Mashchuk I. M., Frolov A. O., Gerdes A., Yans J., Godefroit P. The rise of feathered dinosaurs: Kulindadromeus zabaikalicus, the oldest dinosaur with 'feather-like' structures // PeerJ. 2019. No. 7. DOI: 10.7717/peerj.6239

12. Godefroit P., Spagna P., Sinitsa S. M., Dhouailly D., Bolotsky Y. L., Sizov A. V., McNamara M. E., Benton M. J. A jurassicornithischian dinosaur from Siberia with both feathers and scales // Science. 2014. Vol. 345, no. 6195. P. 451–455.

References

1. Averyanov A. O. Dinosaurs of Russia. Cretaceous system of Russia and the near abroad: problems of stratigraphy and paleogeography: materials of the IX All-Russian meetings / ed. by E. Y. Baraboshkin, T. A. Lipnitskaya, A.Yu. Guzhikov. Magadan, 2018. P. 17–20. (In Rus.)

2. Vasilenko E. A., Yurgenson G. A., Sinitsa S. M., Reshetova S. A. The first data on the content of thorium and uranium in sediments containing the remains of the dinosaur Kulindodromeus zabaikalicus. Postgraduate Student, vol. 12, no. 2, pp. 8–14, 2018. (In Rus.)

3. The State geological map of the Russian Federation on a scale of 1:200 000. The second edition. Olekminskaya series. Sheet N-50-XXXIII (Utan). Explanatory note. Moscow: Moscow branch of FSBI VSEGEI, 2019. (In Rus.)

4. Sinitsa S. M. New data on dinosaurs of Transbaikalia. Environmental cooperation in transboundary ecological regions: Russia – China – Mongolia. Chita, 2011. P. 173–176. (In Rus.)

5. Sinitsa S. M. Types of burials of dinosaur remains in the Olov depression of Transbaikalia. Natural and Technical Sciences, no. 9, pp. 81–90, 2020. (In Rus.)

6. Sinitsa S. M., Vasilenko E. A., Vilmova E. S. Lithological and paleontological climate indicators in the Mesozoic of Transbaikalia. Transbaikal State University Journal, vol. 26, no. 1, pp. 60–67, 2020. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-1-60-67. (In Rus.)

7. Sinitsa S. M., Vilmovael S., Godefroy P. Jurassic dinosaurs of Eastern Transbaikalia. The search. Finds. Researches. Novosibirsk: Nauka, 2024. 536 p. (In Rus.)

8. Sinitsa S. M., Reshetova S. A., Vilmova E. S. Hypostratotypes of the Ukurei formation of the Novoberezovskaya and Olovskaya depressions of Transbaikalia (part 1. Hypostratotype-1 of the Ukurei formation of the Novoberezovskaya depression). Transbaikal State University Journal, vol. 23, no. 6, pp. 52–62, 2017. (In Rus.)

9. Yurgenson G. A., Vasilenko E. A., Sinitsa S. M., Reshetova S. A. Lithological-petrographic and geochemical features of the deposits of the Ukurei formation of the location of dinosaurs Kulindodromeus zabaikalicus as criteria for the state of the paleolandscape. Mineralogy and Geochemistry of the Landscape of Mining Territories. Rational Use of Natural Resources. Modern Mineral Formation. Chita, 2016. P. 44–48. (In Rus.)

10. Bolotsky Y. L., Sizov A. V., Sinitsa S. M. New Data on Theropods (Dinosauria: Theropoda) from Transbaikalia. Abstracts. Shenyang. China, 2015. P. 105–108. (In Eng.)

11. Cincotta A., Pestchevitskaya E. B., Sinitsa S. M., Markevich V. S., Debaille V., Reshetova S. A., Mashchuk I. M., Frolov A. O., Gerdes A., Yans J., Godefroit P. The rise of feathered dinosaurs: Kulindadromeus zabaikalicus, the oldest dinosaur with 'feather-like' structures. PeerJ, no. 7, 2019. DOI: 10.7717/peerj.6239. (In Eng.)

12. Godefroit P., Spagna P., Sinitsa S. M., Dhouailly D., Bolotsky Y. L., Sizov A. V., McNamara M. E., Benton M. J. A jurassicornithischian dinosaur from Siberia with both feathers and scales. Science, vol. 345, no. 6195, pp. 451–455, 2014. (In Eng.)

Информация об авторах

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия; yurgga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7818-7528>. Область научных интересов: минералогия, геохимия, геология рудных месторождений, геммология, технологическая минералогия, биогеохимия, археология.

Василенко Евгений Александрович, инженер лаборатории геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия; mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com. Область научных интересов: палеонтология, геохимия, минералогия.

Information about the authors

Yurgenson Georgy A., doctor of geological-mineralogical sciences, professor, chief researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia; yurgga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7818-7528>. Scientific interests: mineralogy, geochemistry, geology of ore deposits, oregogenesis, gemology, technological mineralogy, biogeochemistry and archeology.

Vasilenko Evgeniy A., junior researcher, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita Russia; mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com. Scientific interests: paleontology, geochemistry, mineralogy.

Вклад авторов в статью

Юргенсон Г. А. – написание статьи.

Василенко Е. А. – написание части введения, обработка аналитических данных, составление части таблиц, перевод на английский язык.

The authors' contributions to the article

Yurgenson G. A. – writing the article.

Vasilenko E. A. – writing the part of the introduction, processing of the analytical data, compilation of part of the tables, translation into English.

Для цитирования

Юргенсон Г. А., Василенко Е. А. Сравнительный анализ химического состава породообразующих и аксессуарных минералов гранита и дресвяников из динозавровых слоёв укурейской свиты урочища Кулинда в Восточном Забайкалье (Россия) // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 4. С. 42–54. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-42-54.

For citation

Yurgenson G. A., Vasilenko E. A. Comparative analysis of the chemical composition of rock-forming and accessory minerals of granite and psephites from dinosaur layers of the Ukureyskaya formation of the Kulinda locality in Eastern Transbaikalia (Russia) // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 4. P. 42–54. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-4-42-54.