



POSSIBLE EVIDENCE FOR THE EXISTENCE OF VOLCANOGENIC MAGMATISM IN THE SINYAYA RIVER BASIN AT THE SOUTHERN FLANK OF THE VILYUI SYNECLISE

V.V. Baranov ¹, V.S. Grinenko ¹, V.P. Afanasiev ^{2✉}, S.S. Ugapieva ¹, N.P. Pokhilenko ²,
N.V. Popov ³, N.V. Zayakina ¹, T.I. Vasilieva ¹

¹ Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 39, Lenin Ave, Yakutsk 677000, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

² Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

³ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 3 Academician Koptyug Ave, Novosibirsk 630090, Russia

ABSTRACT. The results of different-extension geological survey, exploration and thematic work methods show that the Vilyui syncline is relatively amagmatic. However, the recent factual evidence in this region indicates the occurrence of magmatism of a different composition and age. This evidence includes kimberlite indicator mineral found in the sedimentary cover of the syncline. Kimberlites or magmatic rocks of a different composition are not yet known there, so that any other signs of the presence of this type of rocks therein are of importance. As such a sign the authors consider a boulder of metamorphic rock found in the Archean greenstone succession in the lower reaches of the Sinyaya River at the southeastern flank of the Vilyui syncline. The rock is similar in its mineral composition to garnet-staurolite-kyanite schist typical of the Barrovian metamorphic rocks series. The rocks of this mineral composition are common in the greenstone belts of the Aldan-Stanovoy Shield. In particular, they are typical of the Tungurchin metapelite unit of the Temulyakit-Tungurchin greenstone belt exposed in the western part of the shield. The straight line distance between the stratotype area of the Tungurchin Formation development and the place where the boulder was found is more than 600 km southwest of the Sinyaya River. So it is unlikely that the boulder was just transported along the Lena River basin and then to the Sinyaya River by, for example, the Quaternary glacial ice. A more realistic way the boulder appeared in the place where it was found would be its transportation from depth by volcanic pipe, i.e. the boulder is a xenolith from volcanic pipe. The volcanic pipe can be within a radius of a few tens of kilometers or less. The Archean basement therein lies at a depth of a few hundreds of meters to 100 meters which implies transportation of so large xenolith to the surface during the volcanic pipe formation. Therefore, it can be implied that magmatic events occurred in the form of the Jurassic-Cretaceous or probably Middle Paleozoic volcanic pipe intrusion into the Sinyaya River basin area where the metamorphic xenolith was found.

KEYWORDS: Archean greenstone belts; volcanic pipe; xenolith; Vilyui syncline; Sinsk uplift

FUNDING: The work was carried as part of the state assignment of the IGM SB RAS (No. 1220414001557-9), IPGG SB RAS and DPMGI SB RAS (No. FUEM-2019-0001, FUEM-2019-0002) with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and the Russian Foundation for Basic Research (grant 18-05-70063).



RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Valentin P. Afanasiev, avp-diamond@mail.ru

Received: December 29, 2021

Revised: May 2, 2023

Accepted: May 12, 2023

FOR CITATION: Baranov V.V., Grinenko V.S., Afanasiev V.P., Ugapieva S.S., Pokhilenko N.P., Popov N.V., Zayakina N.V., Vasilieva T.I., 2023. Possible Evidence for the Existence of Volcanogenic Magmatism in the Sinyaya River Basin at the Southern Flank of the Vilyui Syncline. *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (5), 0719. doi:10.5800/GT-2023-14-5-0719

СВИДЕТЕЛЬСТВА ВОЗМОЖНОГО СУЩЕСТВОВАНИЯ ВУЛКАНОГЕННОГО МАГМАТИЗМА В БАССЕЙНЕ РЕКИ СИНЯЯ НА ЮЖНОМ ФЛАНГЕ ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ

В.В. Баранов¹, В.С. Гриненко¹, В.П. Афанасьев², С.С. Угапьева¹, Н.П. Похиленко²,
Н.В. Попов³, Н.В. Заякина¹, Т.И. Васильева¹

¹ Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 677000, Якутск, пр-т Ленина, 39, Республика Саха (Якутия), Россия

² Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

³ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, пр-т Академика Коптюга, 3, Россия

АННОТАЦИЯ. По результатам разномасштабных геолого-съёмочных, поисково-разведочных и тематических работ Вилюйская синеклиза представляется достаточно амагматичной. Однако обнаруженные в последние годы факты показывают, что магматизм разного состава и возраста проявлялся в этом регионе. Свидетельством этого являются находки индикаторных минералов кимберлитов в осадочном чехле синеклизы. Однако кимберлиты или магматические породы иного состава здесь пока не известны, поэтому имеют значение любые дополнительные признаки существования здесь пород такого типа. В качестве такого признака авторы рассматривают находку валуна метаморфической породы формации архейских зеленокаменных поясов в нижнем течении р. Синяя на юго-восточном фланге Вилюйской синеклизы. Порода по минеральному составу соответствует гранат-ставролит-кианитовому сланцу, характерному для образований барровианского типа метаморфизма. Породы подобного минерального состава встречаются в зеленокаменных поясах Алдано-Станового щита. В частности, они характерны для тунгурчинской метапелитовой толщи Темулякит-Тунгурчинского зеленокаменного пояса, обнажающейся в западной части щита. Расстояние по прямой от стратотипической местности развития тунгурчинской серии до места находки валуна более 600 км к юго-западу от р. Синяя. В этой связи маловероятен простой перенос валуна по бассейну р. Лены и далее на р. Синяя, к примеру, льдом четвертичных ледников. Более реальный вариант появления валуна в месте находки – это вынос его трубкой взрыва с глубины, т.е. валун представляет собой ксенолит в трубке взрыва. Трубка взрыва может находиться в радиусе первых десятков километров, возможно меньше. Архейский фундамент здесь находится на глубинах от нескольких сотен метров до 100 м, что позволяет предполагать транспортировку на поверхность такого крупного ксенолита при формировании трубки взрыва. Таким образом, можно предположить проявление магматических событий в форме внедрения трубок взрыва юрско-мелового, вероятно и среднепалеозойского возраста в бассейне р. Синяя в районе находки ксенолита метаморфической породы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архейские зеленокаменные пояса; трубка взрыва; ксенолит; Вилюйская синеклиза; Синское поднятие

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках госзадания ИГМ СО РАН (№ 122041400157-9), ИНГГ СО РАН, ИГАБМ СО РАН (№ FUEM-2019-0001, FUEM-2019-0002) и профинансирована Минобрнауки РФ, а также при поддержке гранта РФФИ (№ 18-05-70063).

1. ВВЕДЕНИЕ

По результатам разномасштабных геолого-съёмочных, поисково-разведочных и тематических работ Вилюйская синеклиза и примыкающая к ней западная периферия Верхояно-Колымской складчатой области представляются достаточно амагматичными в рубежах верхней перми – верхнего мела [Budnikov et al., 1994; Kutygin et al., 2003; Malich, 1975; Grinenko, 2007], но появившиеся в последнее время факты показывают, что магматизм разного состава и возраста проявлялся в этом регионе [Golbraikh, Todorovskaya, 1966; Grinenko et al., 1995; Geological Map..., 2000; Mishnin et al., 2002; Kostin et al., 2015]. Свидетельствами тектономагматической активизации в пределах Вилюйской синеклизы являются находки в ее осадочном чехле индикаторных минералов кимберлитов, указывающих

на их среднепалеозойский, мезозойский возраст [Afanasyev et al., 2020a, 2020b; Nikolenko et al., 2008], магматическое событие на границе верхней юры и нижнего мела на ее юго-восточном фланге, представленное покровами лав дацитов и кристалловитрокластических туфов [Grinenko et al., 2018], а также проявление верхнемелового вулканизма на Лено-Вилюйском междуречье [Kostin et al., 2015]. Авторы полагают, что подобные находки будут продолжаться, пополняя знания о формировании Вилюйской синеклизы и прилегающих к ней территорий, в том числе расположенных к югу от нее и относимых уже к северному склону Алданской антеклизы.

В данной работе описана необычная находка крупного валуна гранат-ставролит-кианитового сланца. Он обнаружен в нижнем течении р. Синяя (левый приток

р. Лены) на левом берегу на расстоянии около 40 км от устья. Его размер по длинной оси 0.8 м, в поперечном сечении – 0.6 м, вес – более 100 кг (рис. 1, б). Маловероятно, что валун является эрратическим, так как ближайший выход на дневную поверхность таких пород находится на расстоянии более 600 км в бассейне р. Олекма. В Вилюйской синеклизе не известны выходы подобных метаморфических пород. Из других вариантов наиболее приемлемым, по мнению авторов, является предположение о его ксеногенной природе, т.е. валун был вынесен на поверхность в составе магматической породы, выполняющей трубку взрыва, поэтому главная задача исследований – выяснить характер данной породы и возможные пути ее доставки к месту находки.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение минерального состава породы методом рентгенофазового анализа выполнено на дифрактометре D2 PHASER. Съёмка образцов проводилась на $Cu K_{\alpha}$ излучении при напряжении на катоде рентгеновской трубки 30 кВ и силе тока 10 мА в интервале 4–65° (2θ). Препараты готовились из измельченных в агатовой ступке проб. Контроль работы дифрактометра осуществлялся по съёмке стандартного (NIST) образца корунда. Диагностика минералов проводилась с использованием базы данных PDF-2.

Химический состав породы определялся методом рентгенофлуоресцентного анализа, состав минералов – с помощью микрорентгеноспектрального анализа. Петрографическое исследование проведено в полированном шлифе.

3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МЕСТА НАХОДКИ

В месте находки валуна река прорезает терригенные отложения юрского возраста и течет по терригенно-карбонатным отложениям венда и кембрия (рис. 1, 2, 3, 4). Валун лежит на левом борту р. Синяя в 100 м от уреза воды, на поверхности аллювиальных отложений нижней поймы на кембрийском коренном ложе. Аллювий здесь представлен остроугольными обломками разной размерности, вплоть до валунов 10–15 см, состав которых представлен доломитами, известняками и долеритами. В этом районе по данным бурения осадочный чехол залегает с размывом на Нижнесинском выступе архейского кристаллического фундамента.

Параметры Синского поднятия, в котором выделен Нижнесинский выступ [Geological Map..., 2000], оценены нами в 150×100 км (см. рис. 2, 3). В приустьевой части р. Синяя на ее правом борту в 60-е годы прошлого столетия была пробурена глубокая скважина К-1. В забое скважины на глубине 576 м был вскрыт

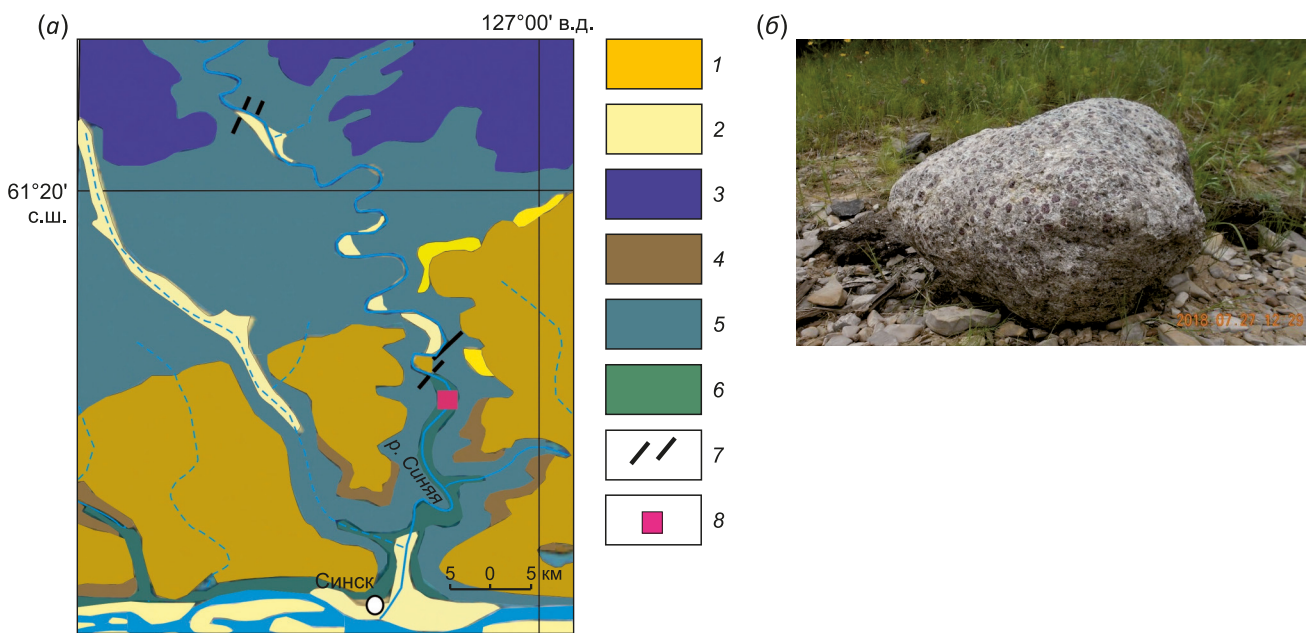


Рис. 1. Фрагмент геологической карты (а) и ксенолит, представленный гранат-ставролит-кианитовым сланцем (б) в нижнем течении р. Синяя, на ее левом берегу.

(а) – фрагмент геологической карты: 1–6 – осадочные образования: 1 – четвертичные, 2 – неогеновые отложения, 3 – мезозой, юрские отложения, 4–6 – нижний палеозой, нижний кембрий, свиты: 4 – пестроцветная, 5 – переходная, 6 – синская; магматические образования: 7 – чаро-синский комплекс, мелкие тела и дайки трахидолеритов, габбро-долеритов, габбро, долеритов; 8 – место находки валуна. (б) – фотография ксенолита.

Fig. 1. A fragment of the geological map (а) and xenolith of a garnet-staurolite-kianite schist composition (б) in the lower reaches of the Sinyaya River, left bank.

(а) – Geological map (a fragment): 1–6 – sedimentary rocks: 1 – Quaternary, 2 – Neogene, 3 – Mesozoic, Jurassic, 4–6 – Lower Paleozoic, Lower Cambrian, formations: 4 – variegated, 5 – transitional, 6 – Sinsky; 7 – Chara-Sinsk complex, small bodies and dikes of trachydolerite, gabbro-dolerite, gabbro, dolerite; 8 – a place where the boulder was found; (б) – a photograph of xenolith.

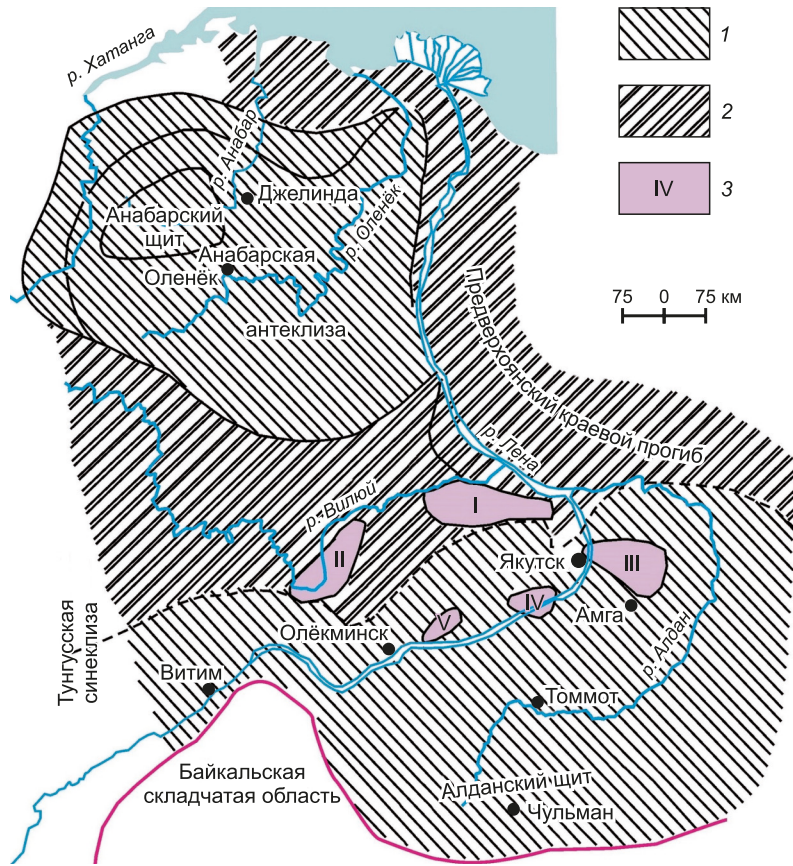


Рис. 2. Структурно-тектоническая схема восточной части Сибирской платформы (фрагмент по [Babayan et al., 1960], с изменениями). 1 – антеклизы; 2 – синеклизы и краевые прогибы; 3 – поднятия: I – Хапчагайское, II – Сунтарское, III – Якутское, IV – Синское, V – Наманинское.

Fig. 2. Structural-tectonic map of the eastern Siberian craton (a fragment, after [Babayan et al., 1960]). 1 – anteclyses; 2 – synclises and foredeeps; 3 – uplifts: I – Khapchagai, II – Suntar, III – Yakutsk, IV – Sinsk, V – Namaninsk.

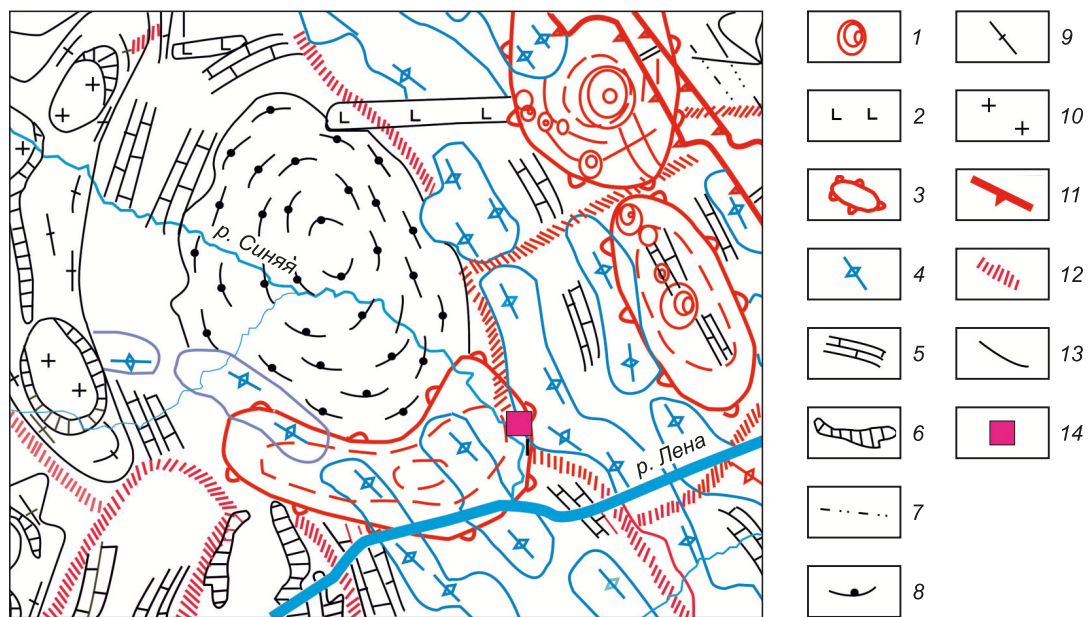


Рис. 3. Фрагмент тектонической карты дорифейского фундамента Геологической карты Якутии масштаба 1:500000 (по [Geological Map..., 2000]).

1-10 – геологические формации: 1 – щелочно-ультраосновная центрального типа, 2 – дайковые комплексы, 3 – инъективные купола, 4 – эндербито-гнейсовая и чарнокитовая нерасчлененные, 5 – мрамор-гнейсовая и мрамор-сланцевая нерасчлененные, 6 – зеленокаменных поясов нерасчлененные, 7 – кварцитосланцевая и высокоглиноземистых сланцев нерасчлененная, 8 – ...

8 – мигматит-плагиогранитовая, 9 – сланцево-гнейсовая нерасчлененная, 10 – гранитовая и лейкогранитовая нерасчлененные; 11–13 – тектонические контакты: 11 – границы кратонов, 12 – границы блоков и глыб (разломы межблоковые и межглыбовые), 13 – границы комплексов и формаций; 14 – местонахождение образца.

Fig. 3. A fragment of the tectonic map of the Preriphean basement of the Geological map of Yakutia, scale 1:500000 [Geological Map..., 2000].

1–10 – geological formations: 1 – alkaline-ultrabasic of the central type, 2 – dyke complexes, 3 – injective domes, 4 – enderbitite-gneissic and charnokite undissected, 5 – marble-gneissic and marble-slate undissected, 6 – greenstone belts undissected, 7 – quartzite-schistous and high-alumina schists undissected, 8 – migmatite-plagiogranite, 9 – schistous-gneissic undissected, 10 – granite and leucogranite undissected; 11–13 – tectonic contacts: 11 – boundaries of the cratons, 12 – boundaries of blocks and boulders (interblock and interboulder faults), 13 – boundaries of complexes and formations; 14 – location of the sample.

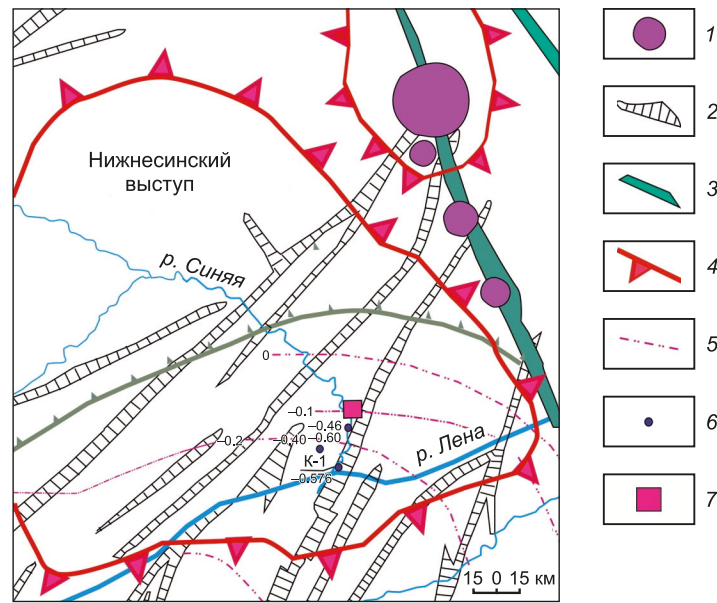


Рис. 4. Фрагмент схемы тектоники осадочного чехла (по [Geological Map..., 2000]).

1 – штоки и лополиты основного и щелочно-ультраосновного состава (по геофизическим данным); 2 – зоны, содержащие тела основного состава (по геолого-геофизическим данным) среднепалеозойского возраста; 3 – зоны, содержащие тела основного состава (по геолого-геофизическим данным) ранне- и позднепротерозойского возраста; 4 – границы структур первого порядка (купола, своды, выступы); 5 – стратоизогипсы отраженных горизонтов, км, по кровле ленского надъяруса нижнего кембрия (по сейсмическим данным); 6 – местонахождение скважин (цифрами обозначены абсолютные отметки глубины кристаллического фундамента); 7 – местонахождение образца.

Fig. 4. A fragment of the sedimentary cover tectonics scheme after [Geological Map..., 2000].

1 – stocks and lopoliths of basic and alkaline ultrabasic composition (according to geophysical data); 2 – zones containing the Middle Paleozoic bodies of basic composition (according to geological and geophysical data); 3 – zones containing the Early and Late Proterozoic bodies of basic composition (according to geological and geophysical data), 4 – boundaries of the first-order structures (domes, arches, protrusions); 5 – contour lines of reflected horizons in km, along the roof of the Lower Cambrian Lenian superstage (according to seismic data); 6 – location of wells (numbers indicate the absolute depths of the crystalline basement); 7 – location of the sample.

раннекембрийский кристаллический фундамент, состав пород которого при бурении не изучался [Babayan et al., 1960].

Разрез осадочного чехла в районе устья р. Синяя начинается с терригенно-карбонатных пород рифея и венда [Geological Map..., 2000] (рис. 4). В этой разновозрастной и разнофациальной толще встречаются маломощные покровы базальтов. Нижний кембрий включает карбонатные стратифицированные образования – пестроцветную, переходную и синскую свиты [Geological Map..., 2000]. Пестроцветная свита представлена известняками, доломитами, мергелями, глинистыми известняками с покровами базальтов. Переходная свита сложена известняками, глинистыми известняками

и мергелями. В составе синской свиты присутствуют известняки, в том числе и битуминозные. Последняя перекрывается с угловым и стратиграфическим несогласием нижнеюрской континентальной терригенной укугутской свитой. В пределах Синского поднятия обнаружен среднепалеозойский чаро-синский дайковый комплекс – мелкие тела и дайки трахидолеритов, дайки габбро-долеритов, габбро и долеритов [Geological Map..., 2000].

Анализ изданных материалов [Geological Map..., 2000] показывает, что Нижнесинский выступ Синского поднятия (см. рис. 2, 3) вверх по течению р. Синяя резко воздымается, при этом глубина залегания его кровли сокращается в северных румбах до 100 м от

дневной поверхности. Река Синяя своим течением трансформирует разлом глубокого заложения неясной кинематики северо-западного простирания, в зоне которого обнаружен валун.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОДЫ

Порода неравномерно-зернистая, содержит крупные выделения гранатов додекаэдрической формы размером до 22 мм. Представляет собой гранат-ставролит-кианитовый сланец.

Минеральный состав породы представлен гранатом, мусковитом, биотитом, кианитом, ставролитом,

кварцем, хлоритом, ильменитом и апатитом (Му-Би-Ки-Ст-Кв-Хл-Ильм-Ап) (рис. 5, 6). Породы подобного минерального состава встречаются среди метapelитовых толщ тунгурской серии зеленокаменных поясов Олёкминской гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита [Smelov et al., 2009]. Химический состав ксенолита представлен в табл. 1.

Гранат образует мегакристы (до 22 мм в диаметре), центральная часть которых переполнена вытянутыми включениями, ориентированными в одном направлении. В промежуточной зоне встречаются участки, менее насыщенные включениями, в которых иногда

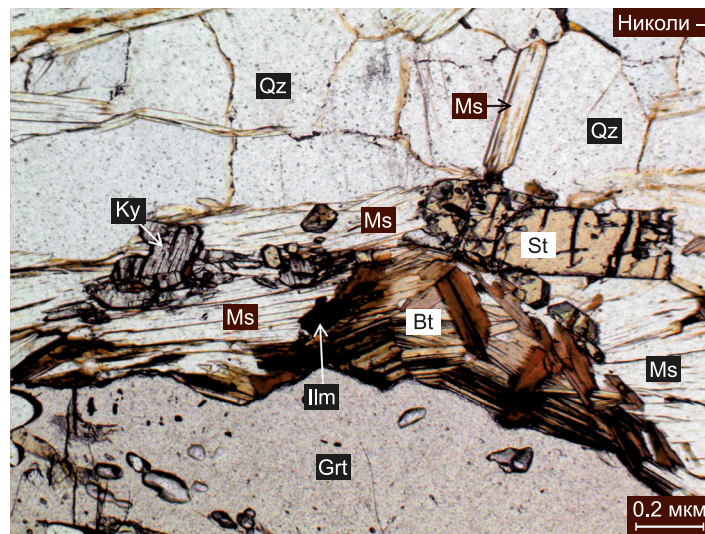


Рис. 5. Фрагмент шлифа породы, слагающей ксенолит.

Fig. 5. A fragment of xenolith-forming rock thin section.

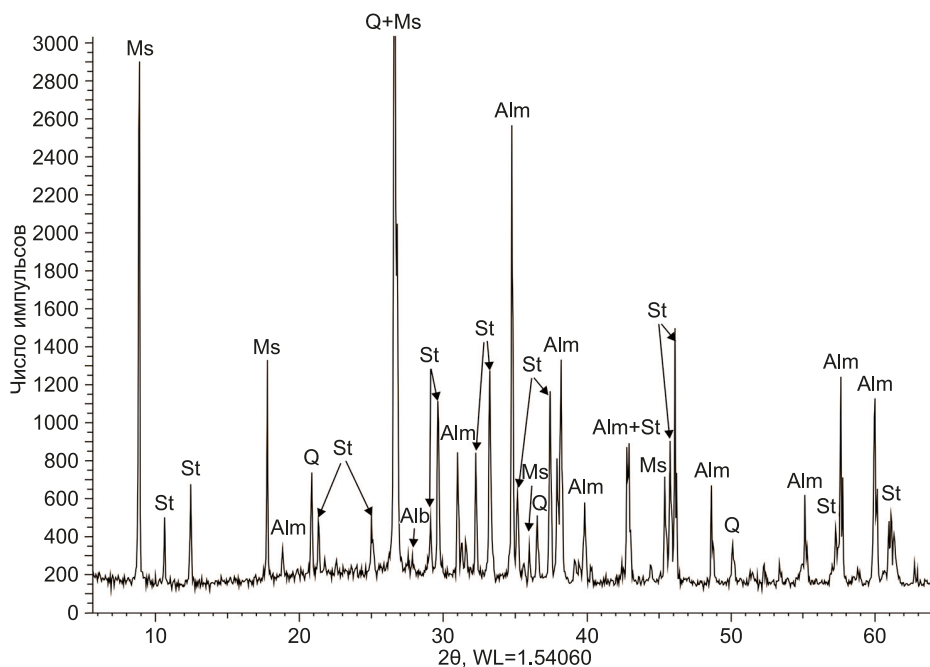


Рис. 6. Рентгенограмма породы. Ms – мусковит, St – ставролит, Alm – альмандин, Q – кварц, Alb – альбит.

Fig. 6. X-ray pattern of the rock. Ms – muscovite, St – staurolite, Alm – almandine, Q – quartz, Alb – albite.

Таблица 1. Химический состав ксенолита, слагающей валун
Table 1. Chemical composition of xenolith in a boulder

SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	Ппп	Сумма
66.10	0.85	20.64	3.73	0.05	0.58	0.80	0.56	3.71	0.34	0.08	2.46	99.94

Примечание. Обнаружены незначительные содержания Cr₂O₃, V₂O₅, NiO (0.01–0.02 %) и SO₃ (менее 0.03 %).
 Note. There was found the presence of some of Cr₂O₃, V₂O₅, NiO (0.01–0.02 %) and SO₃ (less than 0.03 %).

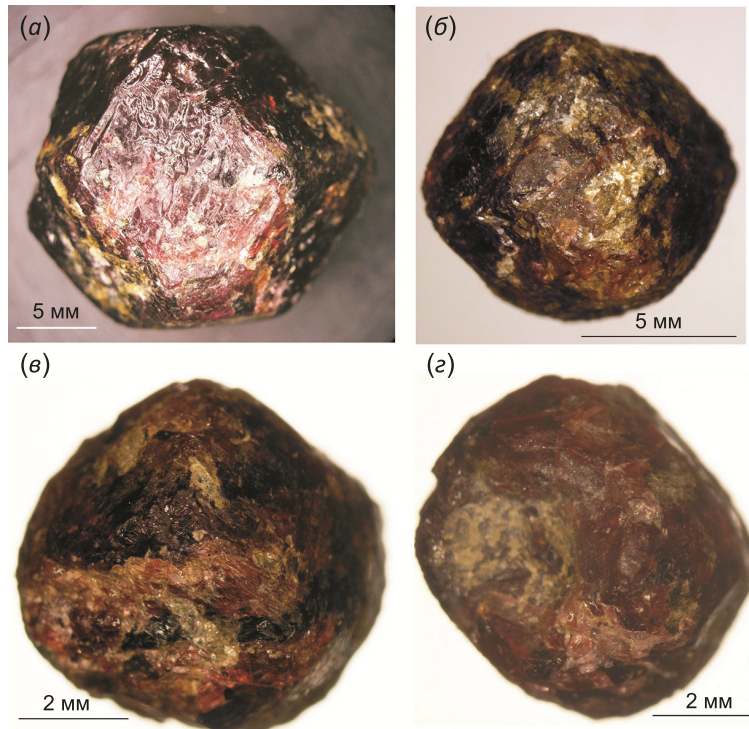


Рис. 7. Мегакристаллы граната р. Синяя: ромбододекаэдры (а, б), округлые гранаты, сохранившие первичную огранку ромбододекаэдра (в, г).
Fig. 7. Megacrystals of the Sinyaya River garnet: rhombic dodecahedrons (a, b), rounded garnets that retained the initial facet of the rhombic dodecahedron (c, d).

присутствуют очень тонкие, закономерно расположенные игольчатые включения – структура распада твердого раствора. Внешняя (около 0.5 мм) зона чиста от включений. Методами сканирующей микроскопии и рамановской спектроскопии в образцах идентифицированы включения рутила, кварца, ильменита, редкоземельного фосфата – монацита, циркона и графита (рис. 7, 8). Включения циркона и монацита очень мелкие, не превышают 30 мкм.

Рутилы представлены коротко- и длиннопризматическими иглами длиной 10–100 мкм, часто встречаются в сростании с ильменитом. Игольчатые включения рутила являются, наиболее вероятно, продуктами распада твердого раствора (рис. 8, 9). При изучении их морфологии оптическими методами хорошо прослеживаются стадии распада удлиненных включений на ряд фрагментов с последующей их изометризацией [Afanasyev et al., 2001]. Распад твердого раствора с образованием игольчатых включений и последующее изменение их морфологии – процесс диффузионный,

требующий как повышенной температуры, так и длительного времени осуществления.

Кристаллы граната окружены «рубашкой» биотита, который практически отсутствует в основной ткани породы. Мусковит слагает основной лепидогранобластовый матрикс породы, в котором встречаются гранобласты кварца, а в скоплениях мусковита – зерна кианита и ставролита (см. рис. 5). Присутствуют мелкие зерна апатита и рудного минерала – ильменита.

Состав некоторых минералов определен для расчета давления и температуры образования породы. Гранат характеризуется слабой изменчивостью – небольшое увеличение железистости от центра к краевой зоне и несколько повышенным содержанием марганца в центре. Биотит также более железистый и титанистый во включениях в гранате, чем в окружающей «рубашке». Мусковиты практически однородные.

Для расчета РТ-параметров метаморфизма были использованы анализы из центральной части граната и включений в нем, а также из краевой части граната,

биотита из «рубашки» и мусковита из матрикса (табл. 2). Величины P-T-параметров метаморфизма пород были вычислены при совместном использовании геотермометра [Wu, Chen, 2015] и геобарометра [Wu, 2020] в пакете MATHEMATICA 5.0 с помощью процедуры Null Space [Wolfram, 2003].

Согласно расчетам, температура кристаллизации граната изменяется от 561 до 543 °С, а давление падает от 6.18 до 6.02 кбар, что характеризует регрессивный этап метаморфизма. Эти оценки соответствуют ставролитовой фации кианит-силлиманитовой фациальной серии [Korikovskiy, 1979] и близки к условиям

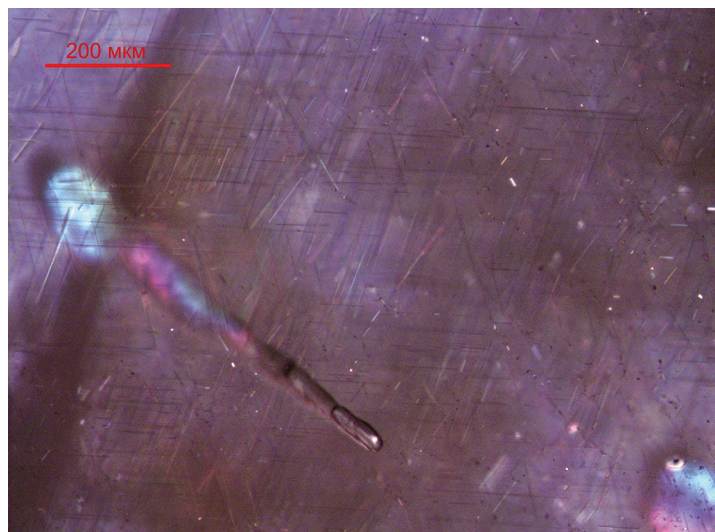


Рис. 8. Следы начальной стадии распада удлиненного включения в гранате.
Fig. 8. Traces of the initial stage of decay of an elongated inclusion in a garnet.

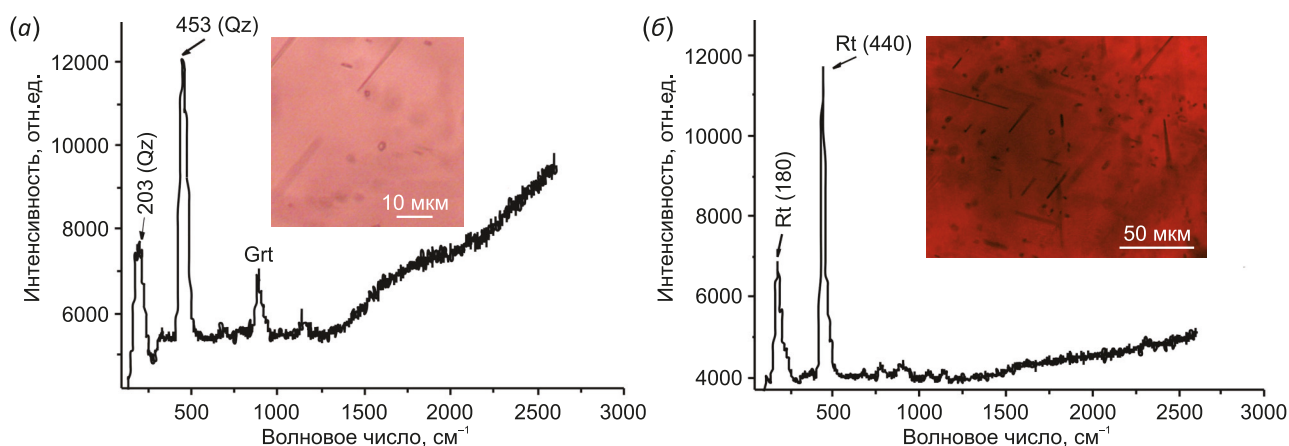


Рис. 9. КР спектры включений кварца (а) и рутила (б).
Fig. 9. Raman spectra of inclusions of quartz (a) and rutile (b).

Таблица 2. Состав минералов, использованный для расчета давления и температуры образования породы
Table 2. Mineral chemistry used for estimating the P-T conditions of rock formation

Минерал	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Сумма
Гранат-центр	36.19	0.00	20.45	0.01	38.28	1.29	3.04	0.31	0.00	0.01	0.00	99.55
Биотит-включение	35.77	1.65	19.71	0.04	21.08	0.02	9.65	0.01	0.25	8.44	4.00	100.59
Мусковит-включение	46.05	0.66	36.17	0.07	1.05	0.00	0.57	0.00	0.80	9.70	4.00	99.08
Гранат - край	36.63	0.01	20.47	0.01	39.49	0.86	2.53	0.29	0.00	0.00	0.00	100.27
Биотит «рубашка»	35.63	1.38	19.65	0.02	22.24	0.00	9.09	0.02	0.23	8.45	4.00	100.71
Мусковит-матрикс	46.87	0.67	36.44	0.08	1.11	0.00	0.59	0.00	0.85	9.80	4.00	100.40

метаморфизма метапелитовых толщ тунгурчинской серии Олёкминской гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита (535–640 °C и 4.9–5.9 кбар), хотя данные по давлению для последней несколько ниже [Smelov, 1989, 1996].

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изученная метаморфическая порода по минеральному составу соответствует гранат-ставролит-кианитовому сланцу. Ее минеральный состав характерен для образований такого рода, в частности для пород тунгурчинской серии зеленокаменных поясов Олёкминской гранит-зеленокаменной области. Эти породы обнажаются по бортам долины р. Олекма в среднем ее течении [Smelov et al., 2009]. Расстояние по прямой до места находки валуна от стратотипической местности развития тунгурчинской серии – более 600 км к юго-западу от р. Синяя. В этой связи маловероятен простой перенос валуна по бассейну р. Лены и далее на р. Синяя, к примеру, льдом четвертичных ледников. Авторами проводились опробовательские работы по долинам рек Марха и Намана (левый приток р. Лены) к западу от р. Синяя, и подобные породы в составе аллювия не наблюдались. Не наблюдались они и по р. Синяя как выше, так и ниже по течению от точки находки валуна, поэтому валун связан скорее с местным источником, чем принесен издалека. С учетом перечисленных во Введении признаков глубинного магматизма в пределах южного борта Вилюйской синеклизы более реальный вариант появления валуна в месте находки – это вынос его трубкой взрыва с глубины, т.е. валун представляет собой ксенолит. К примеру, к югу от места находки описанного валуна на расстоянии около 250 км на притоках р. Алдан, реках Тобук и Хатыстыр расположены трубки взрыва Тобукского и Хатыстырского полей лампроитов позднеюрско-раннемелового возраста. Эти породы малоглубинные, несут главным образом коровый ксеногенный материал. Аналогичные трубки взрыва позднеюрско-раннемелового возраста могут находиться вблизи места находки валуна и служить источником корового материала, в том числе и описанного валуна, т.е. ксенолита в составе магматической породы, выполняющей трубку взрыва. С учетом низкой транспортабельности описанного ксенолита и опыта поисков кимберлитов можно предполагать, что источник может находиться в радиусе первых десятков километров, возможно меньше. Архейский фундамент здесь находится на глубинах от нескольких сотен метров до 100 м, что позволяет предполагать транспортировку на поверхность такого крупного ксенолита при формировании трубки взрыва. Известно о гигантском ксенолите лерцолита весом более 200 кг в кимберлитовой трубке Удачная (устное сообщение А.И. Пономаренко), доставленного к поверхности с глубины не менее 100 км; в этой трубке присутствуют и многочисленные крупные ксенолиты метаморфических пород коры, размеры которых достигают 1.5 м.

Но возможно, что породой-транспортером был кимберлит. Признаки кимберлитового магматизма позднеюрского – раннемелового возраста установлены авторами к северо-западу от г. Якутска – на р. Чакыя (приток р. Кенкеме) [Afanasiev et al., 2020b]. По всей видимости, эксплозивный магматизм этого временного интервала было широко проявлен как на северном склоне Алданской антеклизы, так и в пределах южного – юго-восточного фланга Вилюйской синеклизы, поэтому вполне реальным представляется существование поля трубок взрыва и в бассейне р. Синяя.

Вместе с тем нельзя исключать и среднепалеозойский возраст кимберлитовых тел – потенциальных транспортеров ксеногенного материала. Индикаторные минералы кимберлитов среднепалеозойского возраста обнаружены в районе г. Якутска [Afanasiev et al., 2020a]. Пиропы и пикроильмениты, соответствующие среднепалеозойским кимберлитам, обнаружены в бассейне верховьев р. Марха, впадающей в р. Лену к западу от р. Синяя. Здесь р. Марха и ее приток Намылджалах, как и в приустьевой части р. Синяя, прорезают нижнеюрские отложения, которые служат промежуточным коллектором индикаторных минералов среднепалеозойских кимберлитов [Afanasiev et al., 2020a].

Для выяснения характера магматической породы-транспортера описанного валуна необходимо шлиховое опробование руслового аллювия р. Синяя и детальное изучение минерального состава шлиховых проб. К сожалению, специализированные поиски здесь не проводились. Однако шлиховое опробование р. Синяя, проведенное авторами в 2020 г., позволило обнаружить вспышку содержания алмандинов в устье небольшого притока реки в километре выше по течению от находки валуна. В этой же пробе были обнаружены и единичные пиропы, поэтому вполне реальным представляется предположение о существовании в данном районе трубок взрыва пока не выясненного состава. Это дополняет ранее полученные свидетельства о магматизме Вилюйской синеклизы.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученная метаморфическая порода соответствует гранат-ставролит-кианитовому сланцу барровианского типа, в частности аналогичному породам тунгурчинской серии в среднем течении р. Олекма. Соответственно, можно предполагать, что в районе места находки валуна на р. Синяя под чехлом фанерозойских отложений находится аналог образований кристаллических пород Олёкминской гранит-зеленокаменной области. Описанная метаморфическая порода, предположительно, представляет собой ксенолит, вынесенный на поверхность трубкой взрыва, пока неизвестного состава. Трубочное тело (возможно, поле трубок взрыва) должно находиться в районе находки валуна метаморфических пород. Из-за механической непрочности породы внешняя корка валуна, несущая признаки воздействия породы-транспортера, уничтожена, вероятно, русловой абразией.

Таким образом, предполагается проявление магматических событий в форме внедрения трубок взрыва юрско-мелового, возможно и среднепалеозойского, возраста в бассейне р. Синяя в районе находки ксенолита метаморфической породы. Аналогами подобных событий в регионе на юрско-меловое время могут быть трубки взрыва Центрально-Алданского района – Тобукского и Хатыстырского полей лампроитов. Для получения представления о характере этих трубок взрыва необходимо изучение шлихового материала из руслового аллювия р. Синяя, а также базального горизонта юры в районе находки валуна-ксенолита. Весьма вероятно, что в шлиховых пробах будет содержаться большое количество корового материала, в первую очередь метаморфических гранатов. С учетом геологической ситуации можно предполагать, что трубки взрыва, развитые в бассейне р. Синяя, прорывают терригенные толщи юры и, соответственно, предварительно датируются позднеюрским – раннемеловым временем. Обнаружение трубок взрыва мезозойского возраста возможно классическим путем шлихового опробования руслового аллювия и склоновых отложений.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Afanasiev V.P., Pohilenko N.P., Kuligin S.S., Samdanov D.A., 2020a. On the Prospects of Diamond Content of the Southern Side of the Vilyui Syncline. *Geology of Ore Deposits* 62, 535–541. <https://doi.org/10.1134/S1075701520040029>.

Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P., Malkovets V.G., Grinenko V.S., Kostin A.V., Oleinikov O.B., 2020b. Kimberlitic Magmatism in the South-Western Flank of the Vilui Basin. *Doklady Earth Sciences* 490, 51–54. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20020038>.

Afanasiev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P., 2001. Morphology and Morphogenesis of the Kimberlite Indicator Minerals. *GEO, Novosibirsk*, 276 p. (in Russian) [Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск: Гео, 2001. 276 с.].

Babayan G.D., Barkhatov G.V., Bobrov A.K., Bondarenko V.I., Vasiliev V.G., Kobelyatsky I.A., Nikolaevsky A.A., Tikhomirov Yu.P. et al., 1960. Geological Structure and Oil and Gas Potential of the Yakut ASSR. *Gostoptekhizdat, Moscow*, 478 p. (in Russian) [Бабаян Г.Д., Бархатов Г.В., Бобров А.К.,

Бондаренко В.И., Васильев В.Г., Кобеляцкий И.А., Николаевский А.А., Тихомиров Ю.П. и др. Геологическое строение и нефтегазоносность Якутской АССР. М.: Гостоптехиздат, 1960. 478 с.].

Budnikov I.V., Grinenko V.S., Klets A.G., 1994. The Verkhoyansk Foldbelt as a Key Region for Solving the Basic Problems of the Upper Paleozoic Stratigraphy of Siberia. *National Geology* 8, 42–46 (in Russian) [Будников И.В., Гриненко В.С., Клец А.Г. Верхоянский складчатый пояс – ключевой регион для решения основных проблем стратиграфии верхнего палеозоя Сибири // Отечественная геология. 1994. № 8. С. 42–46].

Geological Map of Yakutiya, 2000. Scale 1:500000. Central Yakutia Block. Sheets: P-51-A, Б; P-51-B, Г; P-52-A, Б; P-52-B. VSEGEI Publishing House, Saint Petersburg, 18 sh. (in Russian) [Геологическая карта Якутии масштаба 1:500000. Центрально-Якутский блок. Листы: P-51-A, Б; P-51-B, Г; P-52-A, Б; P-52-B, Г. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 18 л.].

Golbraikh I.G., Todorovskaya V.N., 1966. On Tuffogenic Rocks Found in the Lower Cretaceous Deposits in the Basin of the Sitte River (Left Tributary of the Lena River). In: *Geology and Oil and Gas Potential of Western Yakutiya. Transactions of the All-Russia Petroleum Research and Geological Exploration Institute. Iss. 249. Nedra, Leningrad*, p. 182–185 (in Russian) [Гольбрайх И.Г., Тодоровская В.Н. О находке туфогенных пород в нижнемеловых отложениях бассейна р. Ситте (левый приток р. Лены) // Геология и нефтегазоносность Западной Якутии. Труды ВНИГРИ. Л.: Недра, 1966. Вып. 249. С. 182–185].

Grinenko V.S., 2007. Cretaceous Continental Deposits in the Eastern Part of the Siberian Platform. *National Geology* 1, 110–118 (in Russian) [Гриненко В.С. Меловые континентальные образования востока Сибирской платформы // Отечественная геология. 2007. № 1. С. 110–118].

Grinenko V.S., Kamaletdinov V.A., Slastyonov Yu.L., Shcherbakov O.I., 1995. Geological Structure of Bolshoi Yakutsk. In: *Regional Geology of Yakutiya. Publishing House of NEFU, Yakutsk*, p. 3–20 (in Russian) [Гриненко В.С., Камалетдинов В.А., Сластенов Ю.Л., Щербаков О.И. Геологическое строение Большого Якутска // Региональная геология Якутии. Якутск: Изд-во СВФУ, 1995. С. 3–20].

Grinenko V.S., Kostin A.V., Kirichkova A.I., Zhelonkina M.S., 2018. New Data on the Upper Jurassic – Lower Cretaceous Rocks in the Eastern Siberian Platform. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology* 2, 48–55 (in Russian) [Гриненко В.С., Костин А.В., Киричкова А.И., Желонкина М.С. Новые данные о пограничных верхнеюрских – нижнемеловых образованиях на востоке Сибирской платформы // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2018. № 2. С. 48–55]. <https://doi.org/10.17308/geology.2018.2/1510>.

Korikovskiy S.P., 1979. *Metamorphic Facies of Metapelites. Nauka, Moscow*, 269 p. (in Russian) [Кориковский С.П. Фации метаморфизма метапелитов. М.: Наука, 1979. 269 с.].

Kostin A.V., Grinenko V.S., Oleinikov O.B., Zhelonkina M.S., 2015. The First Data on the Upper Cretaceous Volcanism Occurrence in the Transition Zone between the Siberian

Platform and the Verkhoyansk-Kolyma Folded Area. *Science and Education* 1 (77), 30–36 (in Russian) [Костин А.В., Гриненко В.С., Олейников О.Б., Желонкина М.С. Первые данные о проявлении верхнемелового вулканизма зоны перехода «Сибирская платформа – Верхояно-Колымская складчатая область» // *Наука и образование*. 2015. № 1 (77). С. 30–36].

Kutygin R.V., Budnikov I.V., Byakov A.S., Klets A.G., Grinenko V.S., 2003. The Key Section of the Dulgalakh and Khalpir Horizons (Upper Tatarian Substage) of the Western Verkhoyanye. *Russian Journal of Pacific Geology* 22 (6), 82–97 (in Russian) [Кутыгин Р.В., Будников И.В., Бяков А.С., Клец А.Г., Гриненко В.С. Опорный разрез дулгалахского и хальпирского горизонтов (верхнетатарский подъярус) Западного Верхоянья // *Тихоокеанская геология*. 2003. Т. 22. № 6. С. 82–97].

Malich N.S., 1975. *Tectonic Evolution of the Siberian Platform Cover*. Nedra, Moscow, 216 p. (in Russian) [Малич Н.С. Тектоническое развитие чехла Сибирской платформы. М.: Недра, 1975. 216 с.].

Mishnin V.M., Istomin I.N., Grinenko V.S., 2002. A New Ore-Bearing Province in the Eastern Part of the Siberian Platform. *Bulletin of Goskomgeology* 1, 6–14 (in Russian) [Мишнин В.М., Истомин И.Н., Гриненко В.С. Новая рудоносная провинция на востоке Сибирской платформы // *Вестник Госкомгеологии*. 2002. № 1. С. 6–14].

Nikolenko E.I., Afanas'ev V.P., Pokhilenko N.P., 2008. Garnets of Crustal Parageneses in Alluvial Deposits of the Eastern Siberian Platform: Genesis and Search Significance. *Russian Geology and Geophysics* 49 (9), 655–666. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2007.07.006>.

Smelov A.P., 1989. *Metamorphic Evolution of the Olekma Granite-Greenstone Area*. Nauka, Novosibirsk, 129 p. (in Russian) [Смелов А.П. *Метаморфическая эволюция Олекминской гранит-зеленокаменной области*. Новосибирск: Наука, 1989. 129 с.].

Smelov A.P., 1996. *Archean and Proterozoic Metamorphism of the Aldan Shield*. Brief PhD Thesis (Doctor of Geology and Mineralogy). Novosibirsk, 33 p. (in Russian) [Смелов А.П. *Метаморфизм в архее и протерозое Алдано-Станового щита*: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 1996. 33 с.].

Smelov A.P., Berezkin V.I., Timofeev V.F., Zedgenizov A.N., Popov N.V., Toropova L.N., 2009. Geological Structure of the Western Part of the Aldan-Stanovoy Shield and Chemical Composition of the Early Precambrian Rocks (South Yakutiya). *YaSC SB RAS, Yakutsk*, 168 p. (in Russian) [Смелов А.П., Березкин В.И., Тимофеев В.Ф., Зедгенизов А.Н., Попов Н.В., Торопова Л.Н. Геологическое строение западной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия). Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2009. 168 с.].

Wolfram S., 2003. *The Mathematica Book*. 5th Edition. Wolfram Media, Champaign, USA, 1488 p.

Wu C.M., 2020. Calibration of the Biotite-Muscovite Geobarometer for Metapelitic Assemblages Devoid of Garnet or Plagioclase. *Lithos* 372–373, 105668. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105668>.

Wu C.M., Chen H.X., 2015. Revised Ti-in-Biotite Geothermometer for Ilmenite- or Rutile-Bearing Crustal Metapelites. *Science Bulletin* 60 (1), 116–121. <https://doi.org/10.1007/s11434-014-0674-y>.