



РАННЯЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ – МИФЫ И ФАКТЫ

В. С. Шкодзинский



**Владимир Степанович
Шкодзинский,**

доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН

Самые древние раннедокембрийские породы Земли имеют возраст 4 – 1,6 млрд лет. Они слагают на континентах кристаллическую кору толщиной до 30 – 40 км. Обширные области, на которых они выходят на земную поверхность, называются щитами. Обнажающиеся на них породы резко отличаются от более молодых, и природа этих отличий до последнего времени была непонятной. По этой причине один из ранних исследователей этих пород назвал их «окаменевшей бессмыслицей».

Массово распространённые молодые осадочные породы почти всегда имеют отчётливую обломочную структуру. Обломки в них сцементированы низкотемпературными глинистыми или карбонатными минералами. Раннедокембрийские гнейсы и кристаллические сланцы подобной структуры не имеют и состоят из плотно сросшихся кристаллов высокотемпературных минералов, как и в кристаллизовавшихся в глубинных

условиях интрузивных магматических породах. Однако толщи древнейших гнейсов и сланцев, в отличие от большинства типичных интрузивных пород, имеют строение, близкое к слоистому, и содержат тела несомненных первично осадочных пород – мраморов, кварцитов и близких по химическому составу к глинам высокоглиноземистых гнейсов. Поэтому утвердилось единодушное мнение о возникновении раннедокембрийских кристаллических комплексов в результате воздействия высоких температуры и давления (процессов метаморфизма) на древние мощные осадочно-вулканогенные толщи. Многие исследователи в течение последнего столетия пытаются объяснить строение, состав и рудоносность раннедокембрийских кристаллических комплексов различных регионов именно с позиций гипотезы их первичного осадочно-вулканогенного генезиса. Однако полученный огромный фактический материал уже давно пришёл

На фото сверху – горячая аккреция Земли и ее магматический океан (sotvoreniye.ru)

в противоречие со всеми положениями этой гипотезы. Так, несмотря на детальные исследования, не удаётся надёжно установить признаки стратифицированности этих комплексов, то есть увеличения древности пород с возрастанием глубины их залегания, как наблюдается в более молодых вулканогенно-осадочных толщах. Даже в отношении положения в вертикальном разрезе различных кристаллических комплексов в большинстве регионов мнения различных исследователей часто бывают диаметрально противоположными. Непонятным является и отсутствие в этих комплексах реликтов грубообломочных пород, остатков низкотемпературных минералов исходных пород и постепенных переходов в неметаморфизованные толщи, как наблюдается в молодых метаморфических комплексах. Не установлены генезис мощных гипотетических исходных толщ при отсутствии на Земле пород древнее 4 млрд лет, причина повсеместного отсутствия реликтов дометаморфических пород и судьба мощных (несколько десятков километров) перекрывающих толщ, теплоизолирующим влиянием которых должен был быть обусловлен метаморфизм.

Еще более неясным является причина кислого состава (богатства кремнекислотой) большинства древнейших кристаллических пород. Остаточные расплавы такого состава по экспериментальным данным могли формироваться только на конечных стадиях кристаллизации магм в малоглубинных условиях (при давлении менее 0,2 ГПа). Но по господствующей в геологии гипотезе холодной гомогенной аккреции (слипания) Земли, на глубине менее 10 км на ней никогда не существовали высокие температуры (более 1000 °С), необходимые для плавления пород и существования расплавов. Несмотря на существование множества противоречий и загадок, осадочно-вулканогенная гипотеза генезиса раннедокембрийских кристаллических комплексов не подвергается сомнению. Это обусловлено тем, что длительное массовое повторение создало ложное впечатление её непогрешимости и не позволяет осознать, что она является мифом, который препятствует прогрессу геологической науки.

Выход из этого тупика в познании дают новейшие данные о горячей аккреции Земли и образовании раннедокембрийских кристаллических комплексов в результате фракционирования (изменения состава расплава при кристаллизации) глобального океана магмы, возникшего вследствие импактного (от ударов) тепловыделения при образовании Земли. Раннедокембрийские кристаллические комплексы содержат многие доказательства наличия такого океана. Одним из них является существование трендов магматического фракционирования в этих комплексах. Как иллюстрирует рис. 1, массово распространённые биотитовые, пироксеновые и роговообманковые гнейсы и кристаллические сланцы наиболее крупных Курультинского, Фёдоровского и Олёкминского комплексов Алданского щита, судя по более чем 600 опубликованным [1 – 3] химическим анализам, соответствуют по составу магматическим породам от гранитов до базитов (соответственно бедных и

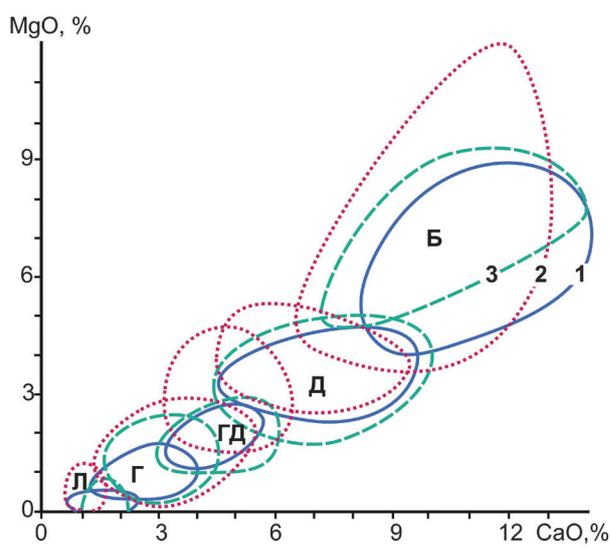


Рис. 1. Положение полей состава различных гнейсов и кристаллических сланцев Олёкминского (1), Фёдоровского (2) и Курультинского (3) комплексов Алданского щита вдоль единого тренда магматического фракционирования.

Поля: Л – лейкогранитов (73 – 78 % SiO₂); Г – гранитов (68 – 73 % SiO₂); ГД – гранодиоритов (63 – 68 % SiO₂); Д – диоритов (53 – 63 % SiO₂); Б – базитов (44 – 53 % SiO₂). Все рисунки построены по данным [1 – 3]

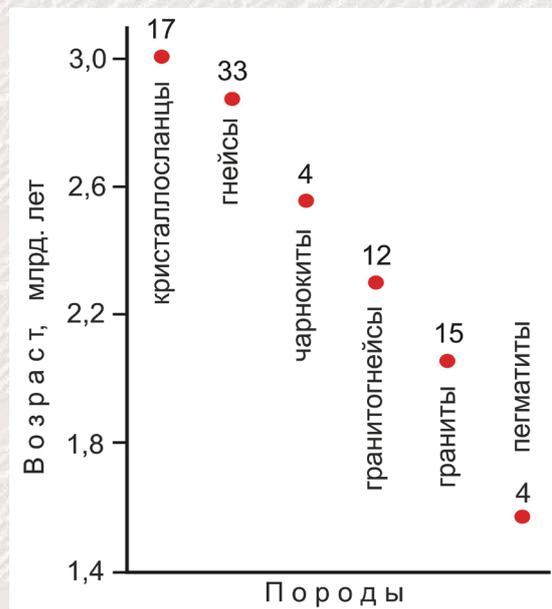


Рис. 2. Уменьшение средних U-Pb и Rb-Sr возрастов различных кристаллических пород Алданского щита в соответствии с последовательностью их формирования при фракционировании магматического океана. Здесь и на рис. 5 цифры у точек – количество использованных определений

богатых кальцием и магнием), и поля их состава располагаются вдоль единого тренда магматического фракционирования. Изотопный возраст и температура кристаллизации в среднем уменьшаются от базитов к гранитам (рис. 2, 3) в полном соответствии с последовательностью их образования при магматическом фракционировании. Аналогичные результаты получены и для верхнемантийных ксенолитов, выносимых магмами обломков глубинных пород из кимберлитов [4].

Это указывает на то, что кристаллическая кора континентов образовалась не в результате метаморфизма гипотетических осадочно-вулканогенных толщ, как обычно принимается, а путём кристаллизации и фракционирования единого огромного объёма магмы. Это подтверждает рис. 4, на котором показаны результаты сопряжённых оценок температуры и давления при кристаллизации раннедокембрийских высокотемпературных комплексов Европы и Азии [1 – 3]. На нём линия В отражает начало кристаллизации этих комплексов. Эта линия показывает, что в то время на земной поверхности было около 900 °С, что соответствует температуре магм. Аналогичные данные получены для верхнемантийных ксенолитов из кимберлитов [4]. Они свидетельствуют о том, что резервуар магмы простирался до земной поверхности и, следовательно, представлял собой глобальный магматический океан.

Геотермический градиент (степень возрастания температуры с глубиной) для полосы точек на рис. 4 равен 3,5 °С/км. Примерно такие же величины (1,8 – 2,3 и

4 – 5 °/км) получены для Лапландского гранулитового пояса Балтийского щита [3]. Аналогичная величина (около 2 °/км) установлена для ксенокристаллов клинопироксена в кимберлитах [4]. Эти величины лишь немного выше адиабатического градиента (0,3 °/км) для расплавов [5] и намного ниже современных градиентов древних континентов и океанов (до 30 °/км, см. рис. 4). Небольшое превышение геотермического градиента при кристаллизации древнейших комплексов над адиабатическим для расплавов является вполне закономерным и обусловлено увеличением температуры магм с глубиной. Следовательно, полученные величины отражают геотермический градиент в постаккреционном магматическом океане и убедительно подтверждают его существование. По рассчитанной количественной модели остывания и кристаллизации этот градиент

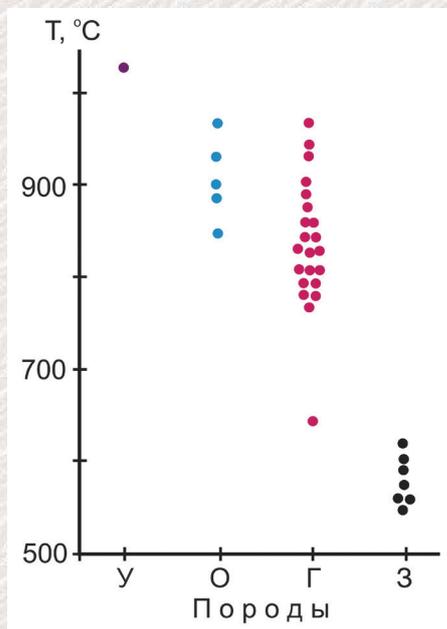


Рис. 3. Уменьшение температуры кристаллизации пород Алданского щита в соответствии с последовательностью их формирования.

У и О – соответственно ультраосновные и основные кристаллические сланцы; Г – гнейсы; З – породы зеленокаменных поясов.

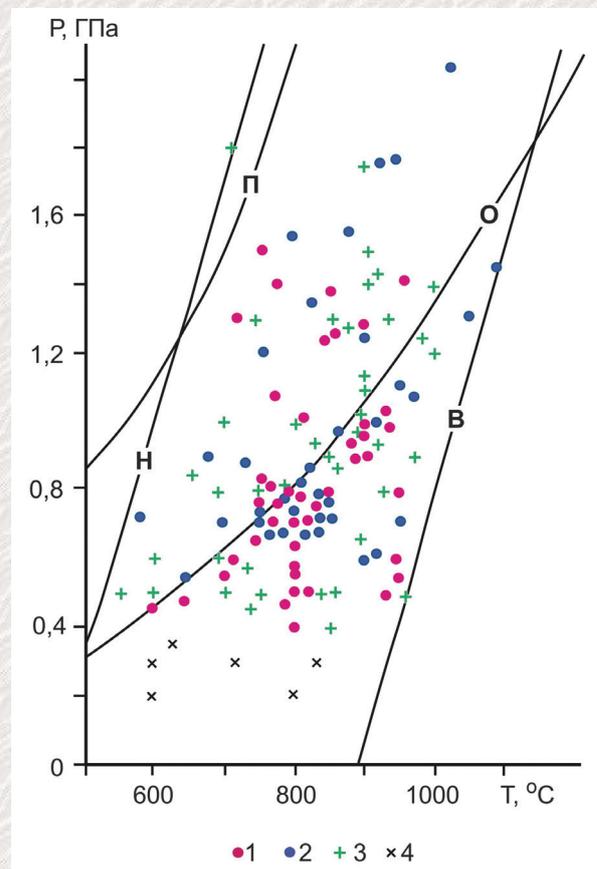


Рис. 4. Соотношение результатов расчётов максимальных температур и давлений (1 – 3) и максимальных температур и минимальных давлений (4) при кристаллизации гранулитовых комплексов Европы и Азии.

Породы с гиперстеном (1), без гиперстена (2) и с неизвестным составом (3). О и П – геотермические градиенты соответственно океанов и древних платформ. В и Н – геотермические градиенты соответственно в начале и в конце процессов кристаллизации комплексов

1,5 млрд лет назад в среднем был равен 4,2 °/км [4]. Это свидетельствует о хорошем соответствии эмпирических (3,5 °/км) и расчётных данных.

Полученные величины противоречат массово повторяемому постулату о высокоградиентном метаморфизме раннедокембрийских комплексов. Высокая температура кристаллизации этих комплексов была связана не с быстрым увеличением её с глубиной, как обычно предполагается, а с очень большой величиной её на земной поверхности. Температура в исходном веществе раннедокембрийских комплексов лишь незначительно возросла с глубиной вследствие её небольшого повышения при адиабатическом сжатии магм и возрастания их основности сверху вниз.

Таким образом, большинство пород раннедокембрийских кристаллических комплексов являются магматическими. Это объясняет высокотемпературность их минералов, идентичность их с минералами типичных магматических пород (гранитов, диоритов, габбро), отсутствие в них реликтов низкотемпературных ранних минералов и переходов в неметаморфизованные или слабометаморфизованные породы, однотипность их минерального и химического состава на всей территории Земли и отличия строения этих комплексов от типичных осадочно-вулканогенных толщ.

В сотни – тысячи раз более высокое содержание в мантийных ксенолитах хорошо растворимых в металлическом железе сидерофильных элементов (Ni, Co, Cu, Au и других) [6], а также кислорода, противоречит господствующей гипотезе совместной аккреции силикатных и железных частиц и последующего разделения их в недрах Земли с образованием ядра и мантии. Оно свидетельствует о более раннем слипании и выпадении железных частиц под влиянием магнитных сил [7] и об аккреции ядра раньше мантии. Как показали выполненные расчёты [4], выпадавшие на ядро силикатные частицы плавилась под влиянием импактного тепловыделения и сформировали глобальный океан магмы. Его придонная часть кристаллизовалась в результате роста давления образующихся верхних частей. Осаждавшиеся кристаллы сформировали породы мантии, а различные остаточные расплавы располагались в соответствии с их плотностью и образовали слоистый океан магмы. Вследствие пониженной силы тяжести на ещё небольшой Земле и незначительной глубины раннего магматического океана, его придонное фракционирование происходило при низком давлении и поэтому обусловило формирование огромного количества кислых остаточных расплавов. Это впервые объясняет кислый состав раннедокембрийских кристаллических комплексов и огромную мощность кислой земной коры.

Вследствие расслоенности по составу, в магматическом океане не возникала обширная конвекция, и он длительно затвердевал сверху вниз в результате теплового излучения в космическое пространство. Затвердевшие верхние его части вследствие увеличения плотности на 6 – 10 % периодически тонули вместе с начавшими формироваться на них осадочными породами, и на их место изливались ещё не затвердевшие магмы

часто более основного состава. Это является причиной слоистоподобного строения кристаллических комплексов, их пёстрого состава и присутствия в них тел метаморфизованных осадочных пород.

Вследствие медленного остывания огромного по объёму магматического океана, раннедокембрийские кристаллические комплексы формировались очень длительно. Как иллюстрирует рис. 5, интервалы времени кристаллизации наиболее изученных Олёкминского и Нимнырского комплексов Алданского щита составляют соответственно 3,2 – 1,9 и 3,4 – 2 млрд лет. С учётом образования Земли 4,56 млрд лет назад, в течение более чем одного первого миллиарда лет вещество этих комплексов должно было существовать в виде перегретого расплава. Это объясняет, казалось бы, загадочное отсутствие на Земле пород с возрастом более 4 млрд лет и кратеров гигантской метеоритной бомбардировки, завершившейся на Луне около 3,9 млрд лет назад.

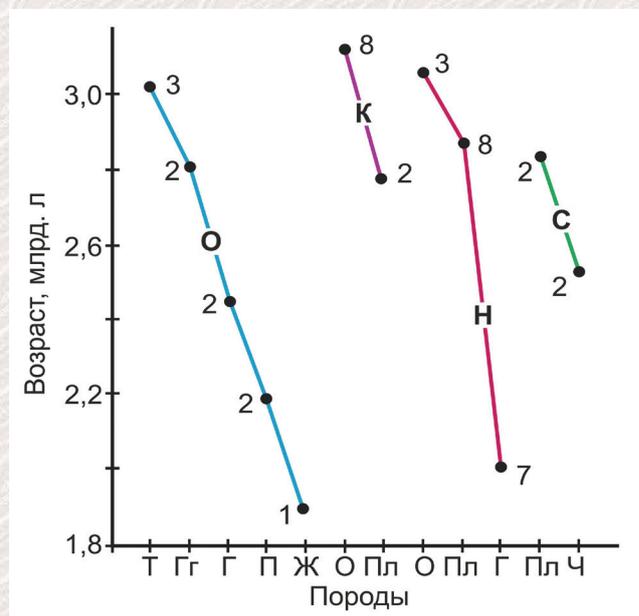


Рис. 5. Средние U-Pb и Rb-Sr возраста различных пород в кристаллических комплексах Алданского щита:

К – Курультинском, Н – Нимнырском, О – Олёкминском, С – Сутамском. Породы: Г – граниты, Гг – гранито-гнейсы, Ж – жильный материал мигматитов, О – основные кристаллические сланцы, П – пегматиты, Пл – плагиогнейсы, Т – тоналитовые и трондьемитовые гнейсы, Ч – чарнокиты

Из этих результатов следует, что массово распространённые во всём мире попытки определения возраста процессов формирования гипотетических исходных осадочно-вулканогенных толщ раннедокембрийских кристаллических комплексов и их высокотемпературного метаморфизма лишены смысла, так как эти процессы не существовали. По изотопным данным можно

сравнивать лишь относительное время кристаллизации однотипных по составу пород в различных комплексах. При этом высокотемпературные бедные кремнекислотой основные породы являются на сотни миллионов лет более древними, чем более низкотемпературные богатые ею гнейсы (см. рис. 2). На геологических картах раннедокембрийские кристаллические комплексы наиболее целесообразно расчленять в первую очередь по составу и содержанию магматических и метаморфизованных осадочных пород. Эти комплексы образуют единый фундамент древних континентов, на котором впоследствии возникли молодые осадочные бассейны и магматические пояса.

Исходя из постулата метаморфического происхождения, широко распространены попытки оценки температуры предполагаемых процессов метаморфизма раннедокембрийских комплексов. Принято выделять две температурных фации – гранулитовую, содержащую бедный кальцием пироксен (гиперстен), и амфиболитовую, не содержащую его. Но при образовании путём кристаллизации магматического океана различия в температуре формирования однотипных по составу пород не могут быть значительными, поскольку в магмах она должна была бы быстро выравниваться. Присутствие гиперстена должно было определяться небольшим содержанием в магмах воды, так как при её значительном количестве вместо гиперстена кристаллизовались бы амфибол или слюда. Как иллюстрирует рис. 4, температура образования пород, содержащих и не содержащих гиперстен, действительно заметно не различается. Это подтверждает рис. 6, на котором распределение температуры кристаллизации в породах гранулитовой и амфиболитовой фаций практически одинаково.

В то же время из рис. 7 видно, что гиперстенсодержащий гранулитовый Курультинский комплекс Алданского щита содержит в среднем в 3 – 4 раза меньше калия, чем Олёкминский амфиболитовый. Температура образования минералов, содержащих воду и калий, в протопланетном диске составляла соответственно 300 К и 1000 К, что заметно ниже, чем 1300 К и более при образовании высокотемпературных конденсатов [6]. Из этого следует, что присутствие в гранулитовых комплексах гиперстена обусловлено возникновением их из ранних высокотемпературных конденсатов протопланетного диска, бедных водой, а также калием, рубидием и другими низкотемпературными конденсатами. Это согласуется с образованием большинства кислых остаточных расплавов на ранней стадии придонного фракционирования магматического океана, когда на Землю выпадали лишь высокотемпературные конденсаты.

Ранее были приведены доказательства увеличения температуры

в мантии с уменьшением глубины на ранней Земле, а не снижения её, как в настоящее время [8]. Это было обусловлено постепенным укрупнением частиц в протопланетном диске, что приводило к сокращению удельных потерь импактного тепла на излучение и поэтому к возрастанию разогрева выпадавшего материала в процессе аккреции. Высокая текучесть магматического океана определяла сначала присутствие кислой кристаллической коры на всей поверхности нашей планеты. В дальнейшем площадь её распространения сильно сократилась под влиянием тектонических деформаций. Всё это было причиной отсутствия современных геодинамических обстановок в раннем докембрии и специфичности геологических процессов в то время.

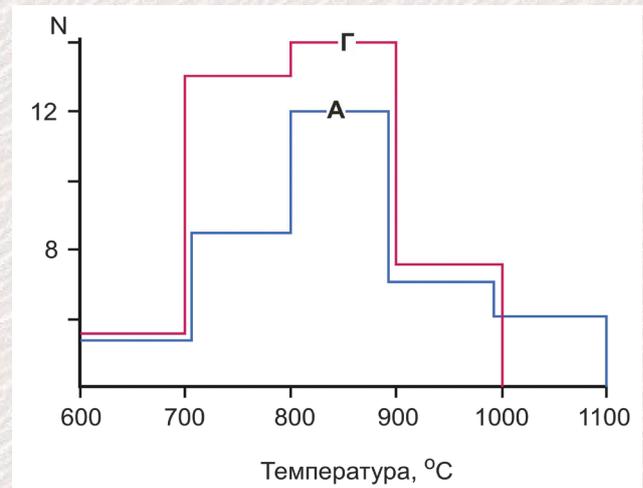


Рис. 6. Близкое распределение температур кристаллизации гиперстенсодержащих пород (Г) и безгиперстеновых (А) Алданского щита

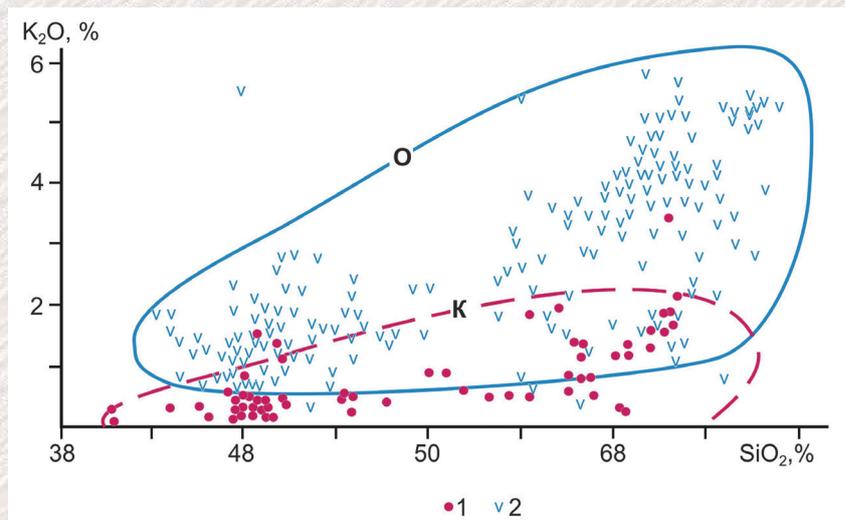


Рис. 7. Резко пониженное содержание K_2O в породах гиперстенсодержащего Курультинского комплекса (точки 1, поле К) по сравнению с Олёкминским безгиперстеновым (2, О) Алданского щита

Таким образом, полученное к настоящему времени большое количество эмпирических данных кардинально противоречит господствующим уже многие десятилетия представлениям об осадочно-вулканогенном происхождении древнейших кристаллических комплексов Земли и об однотипности геологических процессов на ранней и поздней стадиях её эволюции. Эти данные свидетельствуют о направленном необратимом её развитии и о необходимости детального учёта специфики древнейших процессов для решения разнообразных геологических проблем. Без учёта процессов глобального магматического фракционирования огромные затраты средств и труда многих исследователей на решение генетических проблем петрологии являются в высшей степени малоэффективными.

Список литературы

1. Геологическое строение западной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия) / А. П. Смелов [и др.]. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2009. – 168 с.
2. Геологическое строение центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (южная Якутия) / В. И. Берёзкин [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2015. – 459 с.
3. Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя : материалы II Российской конференции по проблемам геологии и геодинимики докембрия. – Санкт-Петербурга, 2007. – 407 с.
4. Шкодзинский, В. С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли) / В. С. Шкодзинский. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2014. – 452 с.
5. Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли / О. А. Богатилов [и др.]. – М. : Наука, 1987. – 438 с.
6. Рингвуд, А. Е. Происхождение Земли и Луны / А. Е. Рингвуд. – М. : Недра, 1981. – 294 с.
7. Harris, P. G. Fractionation of iron in the Solar system / P. G. Harris, D. C. Tozer // Nature. – 1967. – 215 (5109). – P. 1449–1451.
8. Шкодзинский, В. С. Природа геологической эволюции Земли / В. С. Шкодзинский // Наука и техника в Якутии. – 2016. – № 1. – С. 6–11.

НОВЫЕ КНИГИ



Александр Васильевич Лыглаев : библиограф. указ. к 70-летию со дня рождения / Федер. гос. бюджет. учреждение науки, Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Якут. науч. центр, Ин-т физ.-техн. пробл. Севера, Центр. науч. б-ка ; [сост. О. Э. Избекова ; отв. за вып. Э. Н. Фёдорова]. – Якутск : ИФТПС СО РАН, 2016. – 45 с. – (Серия «Библиография учёных ЯНЦ СО РАН»).



Николай Александрович Петров : библиограф. указ. к 90-летию со дня рождения / Федер. гос. бюджет. учреждение науки Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Якут. науч. центр, Ин-т физ.-техн. пробл. Севера им. В. П. Ларионова, Центр. науч. б-ка ; сост. О. Э. Избекова [и др.] ; под ред. Т. А. Капитоновой, Н. В. Павлова. – Якутск : Мега-плюс, 2016. – 60 с.– (Серия «Библиография учёных ЯНЦ СО РАН»).