



Главный редактор А. М. Асхабов

Зам. главного редактора И. Н. Бурцев

Зам. главного редактора О. Б. Котова

Ответственный секретарь И. В. Козырева

Редакционный совет

- Л. Н. Андричева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Оуро-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
В. Н. Пучков, Екатеринбург, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сан, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Екатеринбург, Россия

Технический редактор Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией Т. А. Некучаева

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

Editorial Board

- L. N. Andreicheva, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovskiy, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
V. N. Puchkov, Yekaterinburg, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Ekaterinburg, Russia

Technical Editor G. N. Kablis

Managing Editor T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2021) – 0.407



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2021) – 0.407

Содержание

Content

<i>С 65-летием Института геологии!</i> <i>А. М. Асхабов</i>	Happy 65th Anniversary of the Institute of Geology! <i>A. M. Askhabov</i>
3	3

Научные статьи

Scientific articles

Природа эволюции магматизма в истории Земли <i>В. С. Шкодзинский</i>	The nature of the evolution of magmatism in the history of the Earth <i>V. S. Shkodzinsky</i>
4	4
Первые данные по петрохимии и минералогии месторождения плитчатого камня Талатшинское-2 (Южный Урал) <i>А. А. Самигуллин, В. Н. Никонов, Д. Е. Савельев</i>	The first petrochemical and mineralogical data of the Talatshinskoye-2 deposit (Southern Urals) <i>A. A. Samigullin, V. N. Nikonov, D. E. Saveliev</i>
14	14
Из архива профессора Д. П. Григорьева: к 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского и 140-летию со дня рождения А. Е. Ферсмана <i>Ю. Л. Войтеховский</i>	From Professor D. P. Grigoriev's archive: the 160th anniversary of the birth of V. I. Vernadsky and the 140th anniversary of the birth of A. E. Fersman <i>Yu. L. Voytekhovsky</i>
26	26
Научное наследие А. К. Карабанова в области наук о Земле <i>Е. А. Кухарик, В. С. Хомич, Я. Г. Грибик, М. А. Богдасаров, О. В. Мартиросян</i>	The scientific heritage of Alexander K. Karabanov in the field of Earth sciences <i>E. A. Kukharik, V. S. Khomich, Y. G. Gribik, M. A. Bahdasarau, O. V. Martirosyan</i>
34	34

Хроника, события, факты. История науки

Chronicle, events, facts. History of Science

50 лет лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций	The 50th anniversary of the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations
42	42
Новые издания	New publications.....
43	43

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



С 65-летием Института геологии!

В апреле 2023 года исполняется 65 лет Институту геологии Коми научного центра УрО РАН, который для *Вестника геонаук* является родным домом. Именно он и несет главные попечительские и редакционные заботы, связанные с изданием журнала. Естественно, что и публикации сотрудников Института геологии также составляют в нашем журнале значительную часть.

Институт геологии сегодня – это крупный центр академической геологической науки на Европейском Северо-Востоке России. Здесь формировались и функционируют получившие признание научные школы, яркие и талантливые исследовательские коллективы, современная научно-аналитическая база.

Становление и развитие института связано со многими выдающимися учеными. Особое место в истории института и нашего журнала занимает академик Н. П. Юшкин, имя которого заслуженно присвоено институту.

Дорогие друзья, в биографии нашего института немало страниц, которыми мы по праву можем гордиться. У нас славная история и, надеюсь, не менее успешное будущее.

От имени редакции журнала *Вестник геонаук* обращаюсь к коллективу института со словами поздравления и благодарности. Новых достижений, прорывных открытий, удачи, здоровья всем и, конечно же, хороших статей в наш журнал!

Главный редактор журнала *Вестник геонаук*
академик А. М. Асхабов

Happy 65th Anniversary of the Institute of Geology!

April 2023 marks the 65th Anniversary of the Institute of geology of the Komi Scientific Center UB RAS, which is home to *Vestnik of Geosciences* journal. It is the Institute that bears the main sponsorship and editorial concerns related to the publication of the Journal. Naturally, the publications of the employees of the Institute of geology also compose a significant part in our Journal.

The Institute of geology today is a major center of academic geological science in the European North-East of Russia. Recognized scientific schools, bright and talented research teams, and a modern scientific and analytical base were formed and function here.

The formation and development of the Institute is associated with many outstanding scientists. A special place in the history of the Institute and our journal is occupied by Academician N. P. Yushkin, whose name is deservedly given to the Institute.

Dear friends, there are many pages in the biography of our Institute that we can be proud of. We have a glorious history, and, I hope, a successful future too.

On behalf of the Editorial Team of *Vestnik of Geosciences* I address the staff of the Institute with the words of congratulations and gratitude. I wish new achievements, breakthrough discoveries, good luck and health to everyone, and, of course, good articles in our Journal!

Chief Editor of *Vestnik of Geosciences*
Academician A. M. Askhabov

Природа эволюции магматизма в истории Земли

В. С. Шкодзинский

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск
shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Получены многочисленные доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли. При таком ее происхождении ранне-докембрийские кристаллические комплексы и кислая кора образовались в результате всплывания остаточных расплавов, возникших путем малобарического компрессионного фракционирования придонных частей раннего магматического океана. Подъем остаточных расплавов из различных частей кристаллизовавшегося сверху вниз магматического океана после завершения аккреции обусловил эволюцию магматизма древних платформ от кислого к основному, далее к щелочно-ультраосновному и к кимберлитовому. Прогрев мантии изначально очень горячим ядром привел к возникновению в ней в конце неопротерозоя прямого геотермического градиента и к началу подъема мантийных плюмов. Под их влиянием образовались океанические и субдукционные обстановки. Магмы в них формируются в результате фрикционного и декомпрессионного плавления дифференциатов магматического океана.

Ключевые слова: магмы, магматический океан, фракционирование, фрикционное плавление.

The nature of the evolution of magmatism in the history of the Earth

V. S. Shkodzinsky

Institute of Diamond and Precious Metals Geology SB RAS, Yakutsk

Numerous evidences of hot heterogeneous accretion of the Earth have been obtained. According to these data, the Early Precambrian crystalline complexes and acidic crust were resulted from emerging residual melts formed by low-pressure compression fractionation of the bottom parts of the early magmatic ocean. The rise of residual melts from various layers of the magmatic ocean, crystallized from top to bottom, caused the evolution of magmatism of ancient platforms from acidic to basic, then to alkali-ultrabasic and kimberlite. The warming of the mantle by the initially hot core led to the appearance of a direct geothermal gradient in it at the end of the Neoproterozoic and to the beginning of the rise of mantle plumes. Under their influence, oceanic and subduction environments were formed. Magmas in them are formed as a result of frictional and decompression melting of the differentiates of the magmatic ocean.

Keywords: magmas, magmatic ocean, fractionation, frictional melting.

Введение

Магматизм является одним из основополагающих геологических процессов, определяющим главные особенности строения и рудоносности земной коры. Знание его происхождения необходимо для решения многих теоретических и практических задач. Однако до последнего времени эта проблема не имела убедительного решения вследствие неоднозначности представлений о происхождении Земли и геосфер, необходимых для выяснения природы магматизма.

С позиций господствующей гипотезы холодной гомогенной аккреции Земли предполагается, что магмы образуются путем отделения расплавов из глубинных пород, подплавленных под влиянием радиогенного тепловыделения. Степень частичного плавления первичных ультраосновных пород принимается небольшой (0.1–15%), так как при большей степени выплавки не имеют состава природных магм.

Несмотря на использование в течение многих десятилетий, эта гипотеза не подтверждена геологическими наблюдениями. Более того, к настоящему времени получено большое количество противоречащих ей данных. Как иллюстрирует рис. 1, вязкость слабо подплавленных пород составляет 10^{21} – 10^{22} пуаз.

Скорость всплывания тел W можно оценить по формуле Стокса $W = 2\Delta\rho g R^2 / 9\eta$.

При разности плотностей $\Delta\rho = 600 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$, ускорении силы тяжести $g = 9.81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ и вязкости астеносферы $\eta = 10^{20} \text{ Н}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1}$ скорость всплывания капли основного расплава радиусом $R = 0.01 \text{ м}$ составит $W = 2\cdot 600 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}\cdot 9.81 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}\cdot 0.01^2 \text{ м}^2 / 9\cdot 10^{20}\cdot 0.1 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-1}\cdot\text{с}^{-1} \approx 1.3\cdot 10^{-20} \text{ м/с}$. Следовательно, за 5 млрд лет ($1.575\cdot 10^{17} \text{ с}$), то есть за всю историю Земли, капля всплывет всего на $1.3\cdot 10^{-20}\cdot 1.575\cdot 10^{17} \approx 2\cdot 10^{-3} \text{ м}$. Поэтому слабо подплавленные породы не могут быть источником магм вследствие их огромной вязкости. Это подтверждается результатами изучения единственного доступного наблюдению примера массового частичного плавления — мигматитов. Прямолинейность линий корреляции на рис. 2 иллюстрирует, что в огромных полях мигматитов не происходило отделение анатектического жильного материала даже при содержании его 40% (линия 4).

Происхождение геосфер

С позиций гипотезы холодной гомогенной аккреции непонятна природа огромного объема кислых магматических пород в земной коре. Это обусловлено тем,

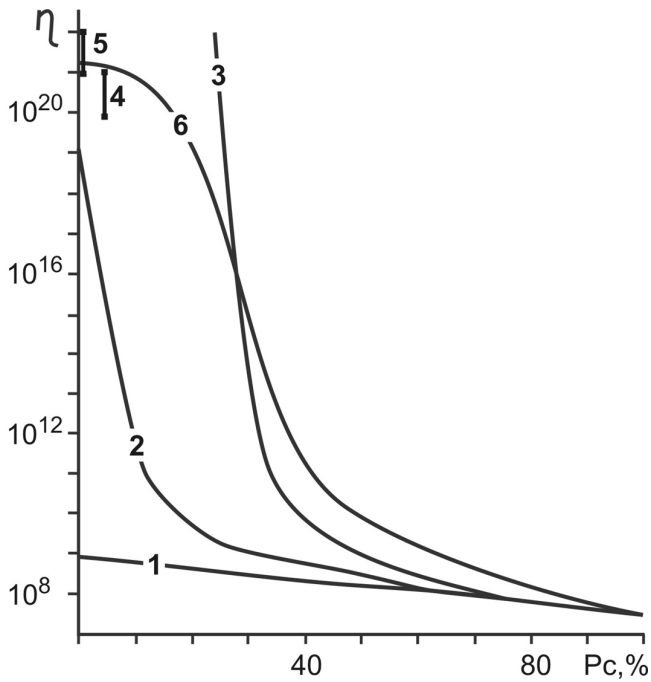


Рис. 1. Вязкость гранитных магм (η , пуаз): 1 — стекла; 2, 3 — рассчитанная по формулам Эйнштейна — Рошке при неодинаковых и одинаковых размерах твердых шаров соответственно; 4 — астеносферы; 5 — земной коры; 6 — принятая (Шкодзинский, 1985). P_c , % — содержание расплава

Fig. 1. Viscosity of granitic magmas (η , puas): 1 — glass; 2, 3 — calculated according formula Einshtein — Roskou for different and identical size of hard spheres respectively; 4 — asthenosphere; 5 — earth's crust; 6 — accepted (Shkodzinskiy, 1985). P_c , % — melt content

что, по экспериментальным данным (Грин, 1973), формирование кислых выплавок из первичных ультраосновных пород Земли возможно лишь при давлении менее 0.2–0.3 ГПа. Однако при холодной аккреции на соответствующей этому давлению глубине 10–12 км не могла существовать температура более 1000 °С, необходимая для начала плавления ультраосновных пород. Предположениям о возникновении кислых магм путем частичного плавления глубинных основных пород противоречат полное отсутствие кислых обособлений в многочисленных ксенолитах эклогитов в кимберлитах и более раннее начало массового кислого магматизма на Земле (3.8 млрд лет назад) по сравнению с основным (3.5 млрд лет) (Балашов, 1985).

К настоящему времени получено большое количество доказательств ошибочности гипотезы холодной гомогенной аккреции Земли и свидетельств горячего гетерогенного ее образования. На это указывают плавление и частичное испарение падающих метеоритов, существование трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах (линия MgO на рис. 3) и ортогнейсах кристаллической коры, полное соответствие температуры кристаллизации и изотопного возраста их различных по составу пород, последовательности образования при фракционировании (линии T, Po и VA на рис. 3) и проекции наиболее ранних геотермических градиентов в область очень высокой температуры (до 1000 °С) на земной поверхности (Шкодзинский, 2018).

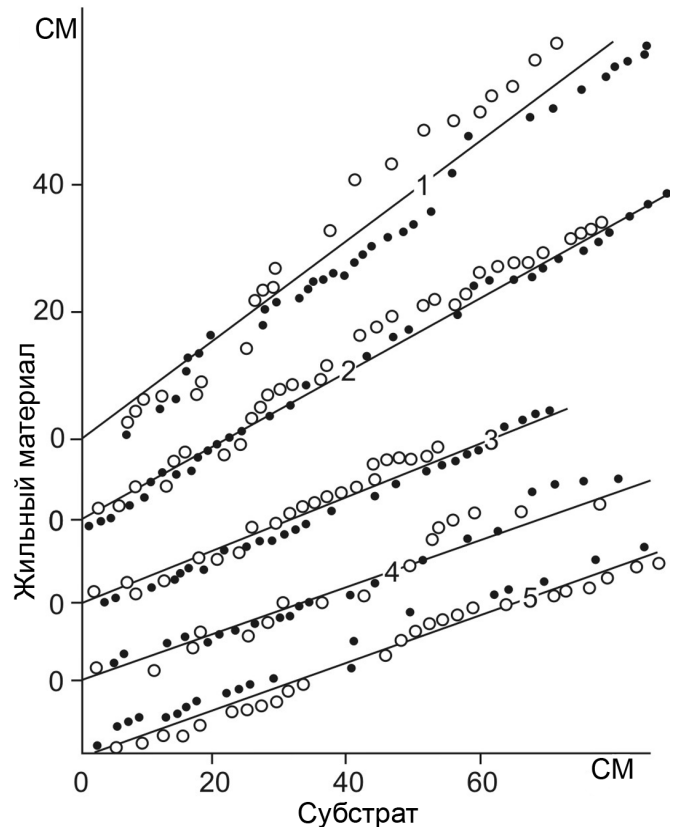


Рис. 2. Соотношение последовательных сумм мощностей (CM) тел анатектической лейкосомы и меланосомы в гранатовых мигматитах р. Амедичи Алданского щита. Цифры — номера замеров (Шкодзинский, 1985)

Fig. 2. Correlation of successive sums of thickness (CM) of anatectic leucosome and of melanosome in biotite-garnet migmatite at the Ameditchi Riv. on the Aldan shield (Shkodzinskiy, 1985)

В двадцать тысяч раз большая фугитивность кислорода в мантийных породах, чем в металлическом железе (O'Neil, 1990), резкая химическая неравновесность этих пород с железом в отношении содержания хорошо растворимых в нем сидерофильных элементов (Рингвуд, 1982) и другие данные свидетельствуют, что силикатные и железные частицы никогда не были перемешаны в земных недрах, как предполагается в гипотезе гомогенной аккреции, а выпадали отдельно. В десятки тысяч раз большая скорость объединения магнитных частиц по сравнению с немагнитными (Harris, Tozer, 1967) указывает, что намагниченные магнитным полем Солнца железные частицы протопланетного диска объединились раньше силикатных и сформировали земное ядро. На него выпадали силикатные частицы и образовали мантию.

Вследствие огромного импактного тепловыделения на ранней стадии аккреции мантии возник глобальный магматический океан. Представления о его существовании широко распространены (Рингвуд, 1982; Hofmeister, 1983; Agee, Walker, 1988). Для объяснения происхождения земного ядра без доказательств обычно предполагается нереально большая его глубина (до нескольких тысяч километров) и не учитывается его син-аккреционная эволюция, хотя ею образован на порядок больший объем мантии (2640 км ее мощности), чем по-

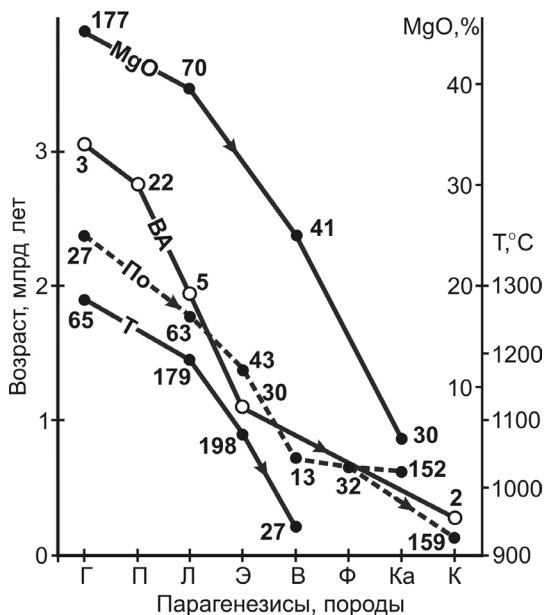


Рис. 3. Средние изотопные возрасты различных мантийных пород из ксенолитов в кимберлитах (линия По) и включений в алмазах (линия ВА), средняя температура образования при 5 ГПа (линия Т) и среднее содержание MgO в породах (линия MgO). Составы включений в алмазах и ксенолитах: Г — гарцбургитовый, П — перидотитовый нерасчлененный, Л — лерцолитовый, Э — эклогитовый, В — верлитовый и вебстеритовый, Ф — флогопитсодержащие породы, Ка — карбонатиты, К — кимберлиты. Числа у точек — количество использованных определений (Шкодзинский, 2018)

Fig. 3. Average isotopic ages of various mantle rocks from xenoliths in kimberlites (line По), inclusions in diamonds (line BA), average formation temperature at 5 GPa (T line), and average MgO content in rocks (MgO line). Compositions of inclusions in diamonds and xenoliths: Г — harzburgite, П — peridotite undifferentiated, Л — lherzolite, Э — eclogite, В — verlite and websterite, Ф — phlogopite-containing rocks, Ка — carbonatites, К — kimberlites. The number of points — the number of used definitions (Shkodzinskiy, 2018)

стаккреционной эволюцией (240 км) (Шкодзинский, 2018). Это не позволяет правильно оценить роль магматического океана в образовании и эволюции Земли.

Наибольшее давление, зафиксированное в минеральных парагенезисах мантийных ксенолитов, выносимых придонными кимберлитовыми расплавами магматического океана, достигает 8 ГПа. Это указывает на максимальную его глубину — около 250 км. Такая ее величина полностью объясняет все особенности глобальных геологических процессов (Шкодзинский, 2018). В период аккреции придонная часть магматического океана кристаллизовалась и фракционировала под влиянием роста давления формирующихся его верхних частей. Небольшая глубина раннего океана и пониженная сила гравитации на еще малой по размерам Земле обусловили относительно низкое давление (менее 0.3 ГПа) при его придонном фракционировании и, как следствие, формирование кислых остаточных расплавов. Легкие кислые расплавы всплывали по мере образования, эффективно накапливались в верхней части океана и после завершения аккреции сформировали раннедокембрийские кристаллические комплексы и кислую кору.

Магматическая природа раннедокембрийских кристаллических комплексов

С позиций господствующей гипотезы холодной гомогенной аккреции обычно предполагается, что раннедокембрийские кристаллические комплексы являются метаморфизованными осадочно-вулканогенными толщами. Однако при таком происхождении непонятна причина выдержанной на всей Земле магматической температуры образования их минеральных парагенезисов (800—850 °C, рис. 4), тогда как фанерозойские метаморфические тощи обычно зональны. В этих комплексах присутствует только регрессивная последовательность минералообразования, как

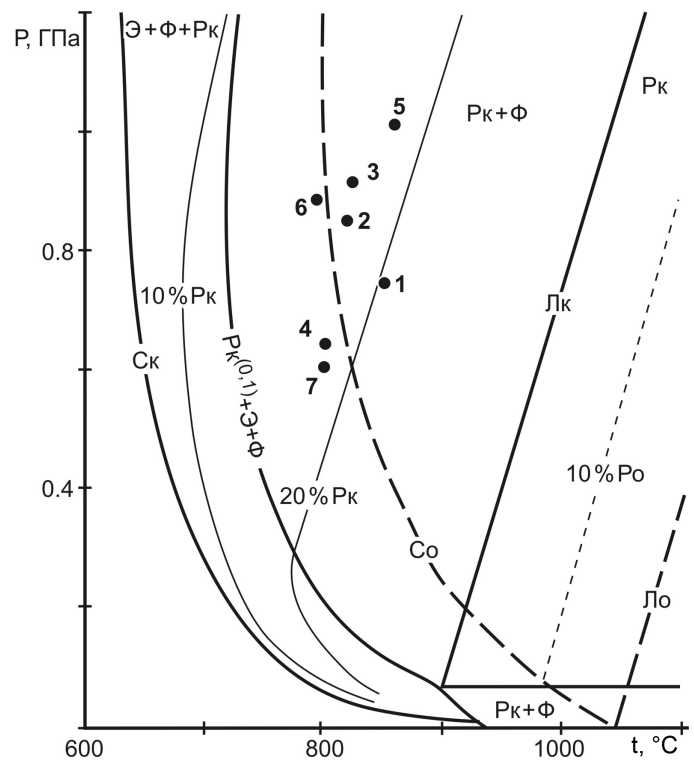


Рис. 4. Средние параметры образования кристаллических комплексов Алданского щита (1, среднее из 36 определений), Анабарского щита (2, 12 определений), Лапландского пояса (3, 11 определений), Украинского щита (4, 4 определения), Антарктиды (5, 1 определение), Урала (6, 10 определений), Беломорья (7, 12 определений). По данным: Гранулитовые..., 2007; Салоп, 1982; Берёзкин и др., 2015. Лк и Ло, Ск и Со — соответственно ликвидусы и солидусы кислых и основных магм, Ф — флюид, Э — минералы гранитов, 10 % Рк и 10 % Ро — содержания соответственно кислого и основного расплава, Рк^(0.1) — кислый расплав с отношением количества CO₂ к H₂O, равным 0.1 (Шкодзинский, 2018)

Fig. 4. Average parameters of formation of crystal complexes of the Aldan shield (1, average of 36 definitions), the Anabar shield (2, 12 definitions), the Lapland belt (3, 11 definitions), the Ukrainian shield (4, 4 definitions), Antarctica (5, 1 definition), the Urals (6, 10 definitions), the White sea (7, 12 definitions). According to Granulitovye..., 2007; Salop, 1982; Berezkin et al., 2015). Лк and Ло, Ск and Со — respectively liquiduses and soliduses of acid and basic magmas; Рк and Ро — melts, respectively acid and basic; Ф — fluid; Э — granite minerals; 10 % Рк and 10 % Ро — content, respectively, acid and basic melt; Рк^(0.1) — acid melt with the proportion of CO₂ to H₂O is equal to 0.1 (Shkodzinskiy, 2018)



в типичных магматических породах, тогда как в молодых метаморфических толщах прогрессивная последовательность широко распространена. Непонятно отсутствие их постепенных переходов в неметаморфизованные породы и мощных (десятки километров) перекрывающих толщ, гипотетическим теплоизолирующим влиянием которых обычно объясняют высокотемпературность их минеральных парагенезисов. Неясна природа часто более молодого изотопного возраста их глубинных частей по сравнению с малоглубинными.

Полученные доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли объясняют основные особенности раннедокембрийских кристаллических комплексов. Значительное возрастание в слоистом магматическом океане плотности с глубиной от 2.3 до 2.8 г/см³ обусловило отсутствие в нем обширной конвекции расплавов после завершения аккреции. Поэтому он остывал и кристаллизовался сверху вниз в результате преимущественно кондуктивных теплопотерь через земную поверхность. Большая продолжительность (до начала фанерозоя) остывания огромного магматического океана является причиной большой длительности образования раннедокембрийских кристаллических комплексов (от 3.8 до примерно 1.8 млрд лет назад). Как показали расчеты (Шкодзинский, 2018), кристаллизовавшиеся верхние части магматического океана часто становились плотнее нижних расплавленных. Поэтому они периодически тонули вместе с начавшими формироваться на них осадками, и на их место всплывали нижние, обычно более основные магмы. Это объясняет чередование ортогнейсов, парагнейсов и основных кристаллических сланцев в большинстве раннедокембрийских комплексов.

Не тонули, видимо, только наиболее легкие, самые кислые, локально распространенные части верхнего слоя, подстилаемые магмами повышенной основности и плотности. Это привело к образованию наиболее древних (обычно более 3 млрд лет) относительно однородных гранит-тоналит-трондьемитовых комплексов. Выделение из магм кислотных газов (HCl, HF, H₂S) приводило к выщелачиванию затвердевших приповерхностных пород. Это обусловило широкое распространение кварцитов и высокоглиноземистых гнейсов среди парапород. Вследствие текучести подстилавших магм на ранней Земле не было высоких гор. Это объясняет отсутствие конгломератов в раннедокембрийских кристаллических комплексах.

Более позднее затвердевание является причиной чаще всего пониженного (2.8—1.8 млрд лет) изотопного возраста гнейсово-кристаллосланцевых комплексов. Еще меньший возраст имеют более глубинные дифференциаты магматического океана (1.1 и 0.75 млрд лет в среднем в ксенолитах эклогитов и пироксенитов из кимберлитов, рис. 3). Это обусловлено более поздним остыванием и кристаллизацией глубинных частей океана по сравнению с малоглубинными. Следовательно, в раннедокембрийских кристаллических комплексах, в отличие от осадочно-вулканогенных толщ, изотопный возраст не повышается с ростом глубины положения в разрезе земной коры, а в среднем понижается. Это противоречит общепринятому принципу Н. Стенона, согласно которому в осадочных толщах верхний слой является более молодым по сравнению с нижним.

Основные кристаллические сланцы раннего докембрия возникли из магм основного слоя магматического океана, в котором длительно накапливались расплавофильные компоненты при фракционировании. Данное обстоятельство объясняет часто высокие содержания в них K₂O (до 2.7 %) и других расплавофильных компонентов. Этим они отличаются от базитов срединно-океанических хребтов (меньше 0.6 % K₂O), возникших из самых ранних нижнемантийных дифференциатов магматического океана. Образование кристаллических комплексов путем затвердевания глобального магматического океана является причиной выдержанной на всех континентах очень высокой температуры их кристаллизации (800—850 °C, рис. 4). Такое происхождение объясняет присутствие в них только регрессивной последовательности минералообразования и отсутствие постепенных переходов в слабометаморфизованные толщи.

Гистограммы распределения температуры в гиперстенных и безгиперстенных гнейсах не различаются (Шкодзинский, 2018). Это указывает, что образование пород, относимых к гранулитовой фации метаморфизма, обусловлено меньшим содержанием воды в исходных магмах и не связано с их гипотетической большей высокотемпературностью, как обычно принимается. Данное обстоятельство подтверждается частым переслаиванием гиперстенных и безгиперстенных гнейсов в одних и тех же обнажениях, несовместимым с разной температурой их гипотетического метаморфизма, и отсутствием явлений более позднего развития гиперстена в гнейсах (Салоп, 1982). Всеземное распространение и большая глубина родоначального магматического океана является причиной огромной мощности (до десятков километров) кристаллических комплексов.

Природа магматизма древних платформ

Отделение остаточных расплавов из кристаллизовавшихся сверху вниз различных частей магматического океана объясняет эволюцию магматизма на древних платформах от кислого к основному, затем к щелочно-ультраосновному карбонатитсодержащему и кимберлитовому (рис. 5). Вследствие алмазоносности природа кимберлитовых расплавов представляет наибольший интерес и будет рассмотрена детально. Судя по имеющимся экспериментальным данным (Сурков, Зинчук, 2001), для возникновения этих расплавов необходимо давление более 2.5 ГПа. Поэтому кимберлитовые остаточные расплавы возникли в придонном перидотитовом слое магматического океана в результате его высокобарического фракционирования. Глубинное положение этого слоя и, как следствие, позднее остывание обусловило наиболее молодой возраст кимберлитов на древних платформах — в среднем 236 млн лет (рис. 1), тогда как возраст карбонатитов, формировавшихся в выше расположенном пикритовом слое, равен в среднем 677 млн лет.

Распространение глобального магматического океана по всей планете объясняет присутствие кимберлитов на всех изученных древних платформах. Высокое содержание в них накапливавшихся в остаточных расплавах легких редких земель (до тысячи хондритовых норм) свидетельствует, что остаточные

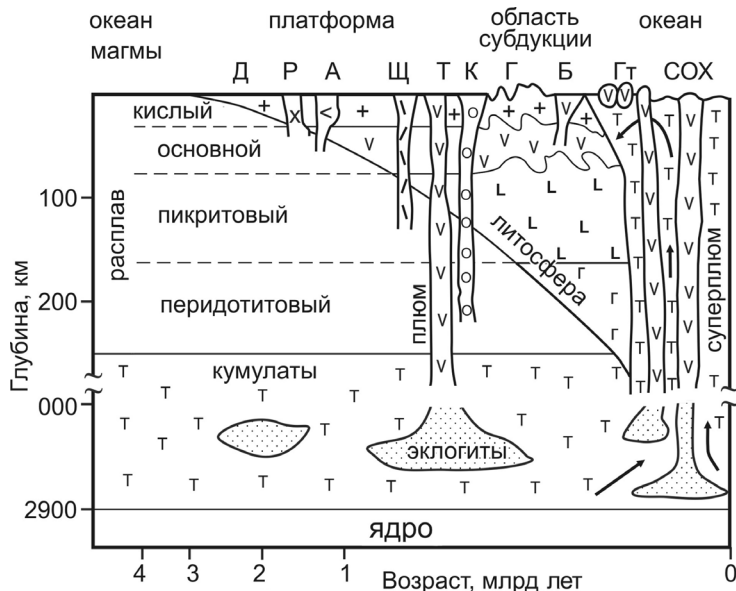


Рис. 5. Схема кристаллизации магматического океана и образования различных магм в главных геодинамических обстановках: А — анортозитовых, Б — базитовых, Г — гранитоидных, Гт — «горячих точек», Д — раннедокембрийских кристаллических комплексов, К — кимберлитовых, Р — рапакиви и других субщелочных, СОХ — срединно-океанических хребтов, Т — траппов, Щ — щелочно-ультраосновных карбонатитсодержащих

Fig. 5. Scheme of crystallization of the magma ocean and formation of magmas in different geodynamic settings: А — anorthositic, Б — basic, Г — acid, Гт — hot points, Д — Precambrian crystalline complexes, К — kimberlite, Р — rapakivi, СОХ — medium-oceanic ridges, Т — traps, Щ — alkaline-ultrabasic with carbonatites

расплавы приобрели кимберлитовый состав после кристаллизации перидотитового слоя более чем на 99.9 %. Поэтому содержание этих расплавов в придонном слое магматического океана было очень небольшим (десятые — сотые доли процента). Это объясняет на удивление очень небольшой объем кимберлитовых тел (обычно меньше кубического километра) даже в самых крупных кимберлитовых полях.

Раздвижение континентальной литосферы, содержащей дифференциаты магматического океана, при образовании океанических областей объясняет отсутствие в них кимберлитов (правило Клиффорда). Разрушение кимберлитсодержащего самого нижнего слоя литосферы на окраинах древних платформ при их перемещении по кумулатам мантии обусловило наличие кимберлитов с высоким содержанием алмазов и в удаленных от окраин внутренних областях.

Рассчитанные количественные модели природных магм (Шкодзинский, 1985, 2018) выявили существование в них малоизвестного и обычно не учитываемого явления — декомпрессионного затвердевания наиболее низкотемпературных магм после вскипания на малоглубинной стадии подъема. На Р-Т-диаграмме для кимберлитовых магм (рис. 6) это выражается в том, что в поле присутствия флюидной

фазы (Тв + Ф + Рс) уменьшаются значения изоконцентрации расплава (20 % Рс, 5 % Рс и др.), пересекаемых траекториями подъема магм. Без учета явления декомпрессионного затвердевания невозможно понять природу малоглубинной эволюции кимберлитовых магм. Вследствие остаточного-магматического происхождения эти магмы были относительно низкотемпературными и содержали значительное количество (десятки процентов) летучих компонентов. Это приводило к их вскипанию при подъеме и к затвердеванию расплава (путем остеклования или кристаллизации) вследствие уменьшения в нем концентрации летучих компонентов. Глубина затвердевания уменьшалась с падением первичного содержания малорастворимой в расплаве углекислоты. Быстрое декомпрессионное затвердевание обусловило консервацию высокого давления выделившихся газов и при дальнейшем подъеме взрывную дезинтеграцию верхних частей кимберлитовых колонн и вмещающих пород под влиянием избыточного давления захороненной флюидной фазы. Мощность эксплозий в тысячи раз превосходила атомные взрывы за счет значительного объема взрывавшегося вещества (Шкодзинский, 2018). Это объясняет формирование кимберлитовыми магмами протяженных трубок взрыва и разнообразных брекчий,



Рис. 6. Схема образования различных геодинамических обстановок и магм: 1 — кислых, 2 — основных, 3 — анортозитовых, 4 — щелочно-основных, 5 — щелочно-ультраосновных карбонатитсодержащих, 6 — кимберлитовых, 7 — океанических и траппов, иногда содержащих ксенолиты земного ядра

Fig. 6. Scheme of formation of the various geodynamic settings and magmas: 1 — acidic, 2 — basic, 3 — anorthositic, 4 — alkaline-basic, 5 — alkaline-ultrabasic with carbonatites, 6 — kimberlitic, 7 — oceanic and trap sometimes with core xenoliths



отсутствие кимберлитовых лав даже в самых крупных кимберлитовых полях и гравитационной отсадки в трубках высокоплотных алмаза, граната и мантийных ксенолитов.

Диссоциация углеродсодержащих соединений привела к присутствию в расплаве небольшого количества свободного углерода. Незначительное его содержание объясняет небольшое количество алмазов (обычно меньше грамма на тонну) даже в самых богатых кимберлитах. В случае иногда предполагаемого гипотетического привноса в мантию углерода погружавшимися в зонах субдукции океаническими осадками или метасоматическими процессами количество алмаза в кимберлитах было бы в сотни — тысячи раз большим. Вследствие почти неограниченной растворимости воды в расплаве при высоком давлении в мантии не может существовать и перемещаться богатая водой флюидная фаза. Это согласуется с углеводородным составом флюидных включений, обнаруженных в алмазах (Сокол, Томиленко, 2020). Алмазы начали кристаллизоваться более 3 млрд лет назад (рис. 3) вследствие увеличения концентрации свободного углерода, поскольку он почти не входил в состав кристаллизовавшихся породообразующих минералов.

В мантийных плюмах из-за увеличения количества расплава в процессах декомпрессионного плавления при подъеме концентрация углерода уменьшалась. Это объясняет отсутствие алмазов в трапхах, несмотря на огромное давление на нижнемантийной плюмовой стадии их эволюции. При замедлении подъема в глубинных условиях часть их магм остывала, кристаллизовалась и в них начинали формироваться алмазы. Но длительность этих процессов алмазообразования (видимо, тысячи лет) была несопоставимо меньше, чем миллиарды лет в магматическом океане. Это объясняет незначительную массу акцессорных алмазов (сотые — десятые доли миллиграмма), иногда встречающихся в щелочных базитах и в породах некоторых вулканов.

Вследствие перидотитового состава вязкость первичных магм была незначительной — первые пуазы (Шкодзинский, 1985). Это обусловило большую скорость диффузии в них химических компонентов. Поэтому атомы углерода успевали достигать торцов слоев роста на гранях ранних кристаллов алмаза и присоединялись к ним, поскольку здесь обнажалось наибольшее суммарное количество его свободных ковалентных связей (в торце слоя плюс на грани кристалла). В результате этого путем послойного тангенциального роста формировались идеальные остросереберные октаэдры. Отсутствие радиального роста обусловило отсутствие скульптур и зеркальную гладкость граней ранних октаэдров. Такое происхождение октаэдров подтверждается существованием обратной корреляции их доли среди алмазов с количеством в кимберлитах кремнекислоты, накапливавшейся при фракционировании (рис. 7).

По причине высокой температуры верхних частей раннего магматического океана кристаллизация его придонного перидотитового слоя сначала происходила очень медленно и длительно. Это подтверждается более пологим наклоном левых частей линий на рис. 3. Продолжительный рост незахороненных в кумулатах кристаллов привел к образованию алмазов-гигантов.

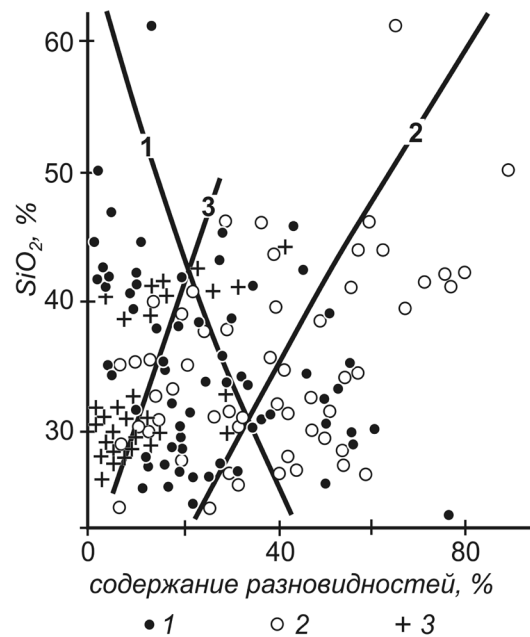


Рис. 7. Зависимость долей октаэдров (1), ромбододекаэдров (2) и кубов (3) среди кристаллов алмаза от содержания кремнекислоты в кимберлитах (Шкодзинский, 2018)

Fig. 7. Correlations of portion of diamond octahedrons (1), rhombic dodecahedrons (2) and cubes (3) with SiO₂ content in kimberlites (Shkodzinskiy, 2018)

Такое происхождение объясняет резкое преобладание среди них октаэдров (около 99 %) в Якутской кимберлитовой провинции (Аргунов, 1985).

Возрастание концентрации кремния, алюминия, титана и других многовалентных элементов при магматическом фракционировании привело к увеличению вязкости остаточных расплавов в тысячи раз. Примерно во столько же раз уменьшилась скорость диффузии углерода и увеличилась степень пересыщения им расплава. Последнее обусловило быстрое образование новых центров кристаллизации и появление новых слоев роста. Постепенное уменьшение площади образующихся слоев вследствие падения скорости диффузии обусловило возникновение выпуклых граней и округлых кристаллов путем антискелетного роста. Обычно предполагаемому их образованию путем растворения противоречит большая их крупность по сравнению с плоскогранными алмазами.

При дальнейшем росте вязкости остаточных расплавов послойный тангенциальный рост алмазов сменился радиальным. Атомы углерода кратчайшим путем присоединялись к кристаллам, на месте ребер и вершин октаэдров возникали грани соответственно ромбододекаэдра и куба, и сначала формировались кристаллы переходной морфологии. На кристаллах возникали разнообразные скульптуры. В дальнейшем образовались ромбододекаэдрические и кубические алмазы. Существование прямой корреляции доли ромбододекаэдров и кубов среди алмазов с содержанием кремнекислоты в кимберлитах (рис. 7) подтверждает такое их происхождение.

Более высокое содержание легких редких земель в магматических породах по сравнению с тяжелыми указывает, что изотопно легкие разновидности элементов больше накапливались в остаточных распла-



вах по сравнению с тяжелыми. Это объясняет часто несколько более легкий изотопный состав углерода в поздних алмазах по сравнению с ранними.

Содержание углекислоты обычно уменьшается с ростом количества кремнекислоты в магмах. Бедные ею магмы декомпрессионно затвердевали и взрывались на значительно меньшей глубине, чем богатые углекислотой. Вследствие повышенной вязкости их расплавов выделявшиеся при вскипании летучие компоненты почти не объединялись и оставались относительно равномерно распределенными в затвердевавшем веществе. При взрывах это приводило к его очень тонкому дроблению, распылению и к рассеиванию вещества и содержащихся в нем алмазов на очень большой площади. Данное явление объясняет огромную протяженность (около 500 км) и небольшую мощность (менее 50 см) слоя карнийских туфизитов с преимущественно округлыми алмазами и додекаэдроидами в приустьевой части р. Лены (Граханов, Проскурин, 2022). Мелкие силикатные обломки часто быстро выветривались и выносились. Это приводило к образованию богатых россыпей с округлыми высококачественными алмазами, широко распространенных в Юго-Западной Африке и на других континентах.

Важной особенностью таких россыпей является большая (в среднем) крупность алмазов. В Африке их средняя масса иногда достигает 300 мг, тогда как в кимберлитовых трубках она обычно меньше 10 мг. Большая крупность алмазов россыпей привела к попыткам найти их коренные источники. В Африке с этой целью из трубок отбирались многие тысячетонные пробы. Но найти такие источники ни в Африке, ни в других регионах пока не удалось. Это обычно объясняют поступлением алмазов из дальних источников. Однако такому предположению противоречит большая крупность алмазов, которые имеют меньшую миграционную способность, чем мелкие. Полученные результаты свидетельствуют, что округлые алмазы имели повышенную крупность в связи с образованием большинства из них в менее глубинном и более кремнекислотном пикритовом слое магматического океана. Этот слой располагался на десятки километров выше перидотитового, и поэтому начал кристаллизоваться на сотни миллионов лет раньше. Более длительная кристаллизация обусловила повышенную крупность алмазов.

При взрыве после декомпрессионного затвердевания алмазосодержащие породы полностью распылялись и коренные источники алмазов не возникали или были очень небольшими. Это объясняет безуспешные попытки найти коренные источники крупных россыпных округлых алмазов в Африке, на севере Якутии и в других регионах. Такие россыпи являются автономными и малоперспективными для поиска коренных источников алмазов. Их присутствие скорее свидетельствует о неперспективности территорий на высокопродуктивные кимберлиты, поскольку алмазосодержащие магмы формировались в богатой кремнекислотой относительно малоглубинной части литосферы.

Полученные результаты позволяют выделить бездиатремовую разновидность алмазоносных магм, образующих только алмазоносные туфы и россыпи и не формирующих диатрем. Они, видимо, близки по составу к лампроитам. Сильное распыление этих магм

при взрыве затрудняет их изучение. Из сформированных такими магмами россыпей добывается большое количество высококачественных алмазов.

Поздние кимберлитовые остаточные расплавы сформировались при степени кристаллизации перидотитового слоя более чем на 99.9 %. При такой высокой степени кристаллизации содержание в расплавах накапливавшихся летучих компонентов достигало десятков процентов. Поэтому они иногда формировали небольшое количество самостоятельной флюидной фазы. Вследствие в тысячи раз более низкой вязкости флюида скорость диффузии углерода в нем была намного выше, чем в расплавах. Это обусловило быстрое зарождение множества кристаллов алмаза во флюидных выделениях, их небольшой размер и присутствие мелкозернистых алмазных агрегатов (борта, карбонадо, балласов) в кимберлитах. Преимущественно октаэдрическая форма кристаллов алмаза в агрегатах подтверждает их рост в маловязком флюиде. Обычно овальная форма алмазных агрегатов, видимо, является унаследованной от формы флюидных пузырьков в расплавах. Позднее образование агрегатов подтверждается иногда встречающимся их нарастанием на монокристаллические алмазы (Смелова, 1994). Наличие пустот, возникших в результате удаления флюида, прямая корреляция доли агрегатов среди алмазов с содержанием воды и углекислоты в кимберлитах и с величиной потерь при прокаливании (Шкодзинский, 2018), а также самое высокое содержание примесей подтверждают рассматриваемый механизм образования алмазных агрегатов.

Генезис магматических пород в фанерозойских геодинамических обстановках

В мантии сначала существовал обратный геотермический градиент вследствие увеличения импактного тепловыделения по мере аккреции и не происходил подъем плюмов. Возрастание интенсивности геологических процессов в неопротерозое (Добрецов, 2011; Салоп, 1982) указывает на прогревание мантии изначально на тысячи градусов более горячим ядром, на возникновение в ней в это время прямого геотермического градиента, тепловой конвекции и плюмов. Всплывание огромных тел основных пород, возникших путем заполнения расплавами синаккреционного магматического океана импактных углублений на его дне, привело к их декомпрессионному переплавлению и быстрому образованию огромных объемов траппов. При еще жидком магматическом океане нижнемантийные магмы растекались в нем и не достигали земной поверхности. Они стали изливаться после затвердевания океана в конце неопротерозоя. На последних стадиях его затвердевания возникали кимберлитовые расплавы. Это объясняет в основном фанерозойский возраст траппов и близкий к нему, обычно несколько более древний возраст кимберлитов.

Под влиянием начавшегося всплывания мантийных плюмов сформировались океанические и субдукционные области и начала действовать современная тектоника литосферных плит. Значительно меньшие ядра на других планетах земной группы не смогли прогреть их мантии. Это объясняет казавшееся загадочным отсутствие на них отчетливых признаков прояв-



ления плитной тектоники и интенсивного современного вулканизма. Существуют два типа мантийной конвекции. Прогревание изначально очень горячим ядром больших объемов мантии привело к их всплыванию и к возникновению огромных суперплюмов преимущественно ультраосновного состава. Всплывание и декомпрессионное переплавление тел эколгитов обусловило образование более мелких плюмов преимущественно основного состава. Их одновременный подъем в одних и тех же участках привел к возникновению «горячих точек» — цепи магматических тел с уменьшающимся по простиранию возрастом.

При образовании океанических областей континентальная кора и литосфера, возникшие из постаккреционного магматического океана, были раздвинуты растекавшимся веществом мантийных суперплюмов. Это объясняет отсутствие или редкость в океанах кислых, щелочно-ультраосновных карбонатитосодержащих и кимберлитовых магм. При формировании траппов всплывали самые нижние части мантии, наиболее прогретые ядром. Это подтверждается присутствием в них крупных (до десятков тонн) тел никелистого (до 7 %) самородного железа. Они имеют признаки образования из ксенолитов земного ядра, возникших в самых ранних импактных кратерах при падении крупных планетезималей на начальной стадии аккреции мантии (Шкодзинский, 2018). Присутствие ксенолитов ядра свидетельствует об однослойной конвекции в мантии и о формировании основных магм в фанерозое путем декомпрессионного переплавления тел эколгитов при всплывании. Их толеитовый состав определялся процессами придонного малобарического фракционирования сианаккреционного магматического океана. Бедность еще раннего океана расплавофильными компонентами обусловила наиболее примитивный состав базитов срединно-океанических хребтов (N MORB) и железосодержащих траппов.

Погружение океанических плит в мантию обусловило возникновение субдукционных геодинамических обстановок. Обычно предполагается образование их магм путем частичного плавления основных пород под влиянием потоков воды, выделяющейся из погружавшихся океанических осадков. Однако известно, что даже в приповерхностных условиях некоторые породы непроницаемы для нефти, воды и газов и создают ловушки для них. В областях магмообразования, где поры и трещины закрыты под влиянием очень высоких давления и температуры, движение флюидных потоков в высшей степени невероятно. Известно, что в энсиматических вулканических дугах вулканы извергают основные магмы, а в энсиалических — преимущественно (более 65 %) кислые. Следовательно, состав магм в них идентичен составу наиболее легкоплавких пород в фундаменте. Это и рассмотренные выше доказательства невозможности отделения выплавки свидетельствуют, что путем обычно предполагаемого частичного плавления основных пород не формировались кислые магмы энсиалических островных дуг. Они возникли путем переплавления кислых пород, широко распространенных в континентальной земной коре.

Зоны погружения океанических плит выглядят парадоксальными. В них перемещаются холодные

плиты, поэтому здесь, казалось бы, должны отсутствовать магматизм и высокотемпературные геотермические градиенты. Однако в этих участках, наоборот, максимально распространены вулканы и наблюдается повышенный тепловой поток. Это свидетельствует о существовании крупного внутреннего источника тепла в участках погружения. Природа этого источника становится понятной, если учесть, что погружающиеся океанические плиты оказывают огромное давление на противостоящую им литосферу и вызывают ее деформации. Присутствие обширных аккреционных комплексов в древних зонах субдукции, интенсивная складчатость и катаклазированность пород, присутствие высоких горных хребтов указывают, что сокращение ширины континентальной коры за счет деформаций достигало многих десятков километров.

Как известно, даже холодные приповерхностные породы иногда плавятся в зонах тектонических разломов с образованием псевдотахилитов. Современные стрессовые напряжения в литосфере в районе Курильской и Японской островных дуг составляют 200—400 МПа (Короновский, 1987). В островных дугах расстояние между вулканами равно в среднем 100 км, континентальная кора преимущественно кислого состава имеет среднюю мощность 40 км. В быстрораспространяемых срединно-океанических хребтах кора раздвигается со скоростью до 20 см в год. Выделение тепловой энергии Q при деформациях можно оценить по формуле $Q = \sigma \dot{\epsilon} V$. При стрессовом напряжении $\sigma = 400$ МПа, механическом эквиваленте теплоты $I = 427$ кг·м/ккал перемещение блока литосферы мощностью $h = 40$ км, шириной $n = 100$ км на $L = 100$ м за тысячу лет приведет к выделению тепловой энергии $Q = 400 \cdot 102000 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot 40000 \text{ м} \cdot 100000 \text{ м} \times 100 \text{ м} / 427 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{ккал} = 3.75 \cdot 10^{16}$ ккал.

Количественная модель гранитных магм (Шкодзинский, 2018) показывает, что в очагах магмообразования вследствие высокого давления (1.0—1.5 ГПа) содержание расплава в кислых магмах составляет в среднем около 40 %, что согласуется с частичным прохождением поперечных сейсмических волн через корни вулканов. Значительная часть расплава возникает под влиянием декомпрессии при подъеме. При энталпии плавления диорита $E = 50$ ккал/кг за счет фрикционного тепловыделения сформируется $M = Q/E = 3.75 \cdot 10^{16} \text{ ккал} \cdot (50 \text{ ккал/кг} \cdot 0.4)^{-1} = 1.88 \cdot 10^{15}$ кг, или примерно 820 км^3 андезитовой магмы. Подъем этой магмы приведет к 16 400 сильным (в среднем по 0.05 км^3) извержениям вулканов за тысячелетие на 100 км протяженности вулканической дуги или к множеству более мелких. Это примерно соответствует частоте извержений в активных вулканических дугах. Большую эффективность фрикционного плавления демонстрирует небольшой спутник Юпитера Ио, на котором деформации недр под влиянием гравитации то приближающихся, то удаляющихся при вращении Европы, Ганимеды и Юпитера обусловили существование более 400 действующих вулканов и озер лавы диаметром до 200 км. Фрикционное происхождение субдукционных и коллизионных магм подтверждается неразрывной временной и пространственной связью их внедрения с тектоническими движениями.



Заключение

Таким образом, детальный учет горячей гетерогенной аккреции позволяет объяснить многие особенности образования, распространения и эволюции магматических пород разного состава на Земле. Главным генератором магм было фракционирование глобального магматического океана, возникшего в результате гигантского импактного тепловыделения при аккреции. Без учета этого грандиозного явления невозможно решение глобальных генетических проблем. Плодотворность этого учета особенно хорошо демонстрируют проблемы происхождения кимберлитов и алмазов. Выделяются три генетические разновидности магм.

В результате всплывания расплавов магматического океана возникли кислая кора, раннедокембрийские кристаллические комплексы, гранитоиды, базиты, щелочно-ультраосновные комплексы и кимберлиты древних платформ. Фрикционное и декомпрессионное переплавление затвердевших дифференциатов магматического океана обусловило образование главных разновидностей магматических пород в фанерозое — траппов, магматических пород океанических, субдукционных и коллизионных областей. Фракционирование возникших магм привело к формированию поздних щелочных магматических фаз.

Полученные результаты противоречат выказывавшимся ранее представлениям, но, в отличие от них, они во всех деталях согласуются с эмпирическими данными и впервые полностью объясняют их. Они подтверждают полузабытые представления классиков петрологии П. Эсколя, А. Н. Заварицкого и других о ведущей роли магматического фракционирования в образовании многообразия магматических пород на Земле.

Литература / References

Аргунов К. П. Алмазы Якутии. Новосибирск: Изд-во АН СССР, 2005. 402 с.

Argunov K. P. *Almasy Yakutii* (Diamonds of Yakutia). Novosibirsk: SB RAS, 2006, 402 p.

Балашов Ю. А. Изотопно-геохимическая эволюция мантии и коры Земли. М.: Наука, 1985. 221 с.

Balashov Ju. A. *Izotopno-geohimicheskaja evoluzija mantii i kory Zemli* (Isotope-geochemical evolution of mantle and crust of the Earth). Moscow: Nauka, 1982, 221 p.

Березкин В. И., Смелов А. П., Зедгенизов А. В., Кравченко А. А., Попов Н. В., Тимофеев В. Ф., Торопова Л. И. Геологическое строение центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 459 с.

Berezkin V. I., Smelov A. P., Zedgenizov A. V., Kravchenko A. A., Popov N. V., Timofeev V. F., Toropova L. I. *Geologicheskoe stroenie Aldano-Stanovogo shchita i himicheski sostav porod rannego dokembrija* (Geological structure of Aldan-Stanovoi shield and chemical composition of rocks of Early Precambrian). Novosibirsk: SB RAS, 2015, 459 p.

Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя: Материалы II Рос. конф. СПб., 2007. 407 с.

Granulitovye komplekсы v geologicheskom razvitii dokembrija i fanerozoja (Granulite complex in geological development of Precambrian and Phanerozozi). Proc. II Russian Conference. St. Peterburg, 2007, 207 p.

Граханов С. А., Проскурин В. Ф., Петров В. В., Соболев Н. В. Алмазоносные туфогенно-осадочные породы триаса Арктической зоны Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2022. № 1. С. 556—578. DOI 10.35372/GiG2021195

Grahanov S. A., Proskurin V. F., Petrov V. V., Sobolev N. V. *Almazonosnye tufogenno-osadochnye породы triasa Arkticheskoi zony Sibirskoi platformy* (Diamond tuff-sedimentary rocks of Arctic zone of Siberian platform). *Geology and geophysics*, 2022, No. 1, pp. 556—578. DOI 10.35372/GiG2031195

Грин Д. Х. Состав базальтовых магм как критерий условий их возникновения при вулканизме / Ред. Э. Буллард, Дж. Канн, Д. Метьюз // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир, 1973. С. 242—261.

Green D. X. *Sostav basaltovyh magm kak kriterii uslovi ih vosniknovenia pri vulkanizme* (Composition of basaltic magmas as criterion of genesis). *Petrology of magmatic and metamorphic rocks of oceans*. Moscow: Mir, 1973, pp. 242—261.

Добрецов Н. Л. Основы геотектоники и геодинамики. Новосибирск: Изд. НГУ, 2011. 492 с.

Dobrezov N. L. *Osnovy geotektoniki i geodinamiki* (Base of geotectonic and geodinamic). Novosibirsk: Nauka, 2011, 492 p.

Короновский Н. В. Напряженное состояние земной коры // Соросовский образовательный журнал. 1987. № 1. С. 50—56.

Koronovski N. V. *Napryaghonnoe sostojanie kory* (Tense state of crust). *Sorosovski educational journal*, 1987, No. 1, pp. 50—56.

Рингвуд А. Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 294 с.

Ringwood A. E. *Obrazovanie Zemli i Luny* (Genesis of the Earth and Moon). Moscow: Nedra, 1982, 294 p.

Салоп Л. Н. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л.: Недра, 1982. 334 с.

Salop L. N. *Geologicheskaja evoluzija Zemli v dokembrii* (Geology evolution of the Earth in Precambrian). Leningrad: Nedra, 1982, 334 p.

Смелова Г. Б. Генезис агрегатов алмазов из кимберлитовых трубок Якутии. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1994. 88 с.

Smelova G. B. *Proisxoghenie almaznyh agregatov v kimberlitaх Yakutii* (Genesis of diamond aggregates from kimberlites of Yakutia). Yakutsk: YaSC SB RAS, 1994, 88 p.

Сокол А. Г., Томиленко А. А., Бульба Т. А., Сокол И. А., Заикин П. А., Соболев Н. В. Состав флюида восстановленной мантии по экспериментальным данным и результатам изучения флюидных включений в алмазах // Геология и геофизика. 2020. № 5—6. С. 810—825. DOI 10.15372/GiG2020103

Sokol A. G., Tomilenko A. A., Bulba T. A., Sobolev N. V. *Sostav mantiinogo fluida po eksperimentalnym dannym i rezultatam isuchenia almasov* (Composition of mantle fluid on experimental data and result study of fluid in diamonds). *Geology and geophysics*, 2020, No. 5—6, pp. 810—825. DOI 10.15372/GiG2020103



- Сурков Н. В., Зинчук Н. Н. Устойчивость глубинных парагенезисов, процессы магнообразования и происхождение кимберлитов // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2001. С. 101–128.
- Surkov N. V., Sinchuk N. N. *Ustoichivost glubinnyx paragenesisev, obrasovanie magm i kimberlitov* (Stability of deep paragenesis, origin of magmas and simberlites). Problems of diamond geology. Voroneg: VSU, 2001, pp. 101–128.
- Шкодзинский В. С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 232 с.
- Shkodzinskiy V. S. *Fazovaja evolutsia magm i petrogenesis* (Phase evolution of magmas and petrogenesis). Moscow: Nauka, 1985, 232 p.
- Шкодзинский В. С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Изд-во СВФУ, 2018. 244 с.
- Shkodzinskiy V. S. *Globalnaja petrologija po sovremennym dannym o gorjachei heterogennoj akkpezii Zemli* (Global petrology on modern data of hot heterogeneous accretion of the Earth). Yakutsk: SVFU, 2018, 244 p.
- Agee C. B., Walker D. Mass balance and phase density constraints on early differentiation of hondritic mantle // Earth Planet. Sci. Lett., 1988, V. 90, p. 144–156.
- Harris P. G., Tozer D. C. Fractionation of iron in the Solar system // Nature, 1967, V. 215, No. 5109, p. 1449–1451.
- Hofmeister A. M. Effect of hadean terrestrial magma ocean on crust and mantle evolution // J. Geophys. Res, 1983, V. B88, No. 6, p. 4963–4983.
- O'Neil H. S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the mantle: implications for the origin of the Earth // Meteoritics, 1990, V. 25, No. 4, p. 395.

Поступила в редакцию / Received 7.11.2022

Первые данные по петрохимии и минералогии месторождения плитчатого камня Талатшинское-2 (Южный Урал)

А. А. Самигуллин, В. Н. Никонов, Д. Е. Савельев

Институт геологии УФИЦ РАН, Уфа
samigullinaidar85@gmail.com

В статье впервые приводится детальная петрографическая, петрохимическая и минералогическая характеристика месторождения плитчатого камня Талатшинское-2. В породах антиклинория Уралтау в первый раз был обнаружен минерал фергюсонит. Проведена корреляция изучаемого объекта с другими месторождениями плитчатого камня. Выявлено повышенное содержание щелочей, что является нетипичной характеристикой для сланцев восточного крыла Уралтауского антиклинория. Содержания ниобия и иттрия прямо указывают на принадлежность протолита к кислым щелочным образованиям. Обнаружены первые проявления редкометалльно-редкоземельной Y-Nb-Ta-минерализации в сланцах антиклинория Уралтау. На основе комплекса признаков, включая петрохимические, геохимические и минералогические, сделан вывод о том, что протолитом для пород месторождения послужили субщелочные гранитоиды.

Ключевые слова: Уралтау, максюттовская серия, Талатшинское месторождение, слюдистые сланцы, фергюсонит, монацит, циркон, гранитоидный магматизм.

The first petrochemical and mineralogical data of the Talatshinskoye-2 deposit (Southern Urals)

A. A. Samigullin, V. N. Nikonov, D. E. Saveliev

Institute of geology UFRC RAS, Ufa

The article provides a novel detailed petrographic, petrochemical and mineralogical description of the Talatshinskoye-2 slab stone deposit. Fergusonite was found in the rocks of the Uraltau anticlinorium for the first time. The correlation of the studied object with other deposits of slab stone was carried out. An increased content of alkalis was revealed, which is an atypical characteristic for shales of the eastern flank of the Uraltau anticlinorium. The contents of niobium and yttrium directly indicate that the protolith belongs to acidic alkaline formations. The first manifestations of rare-metal-rare-earth Y-Nb-Ta-mineralization were found in shales of the Uraltau anticlinorium. Based on a set of features, including petrochemical, geochemical, and mineralogical, it was concluded that subalkaline granitoids served as the protolith for the rocks of the deposit.

Keywords: Uraltau, Maksyutov series, Talatshinskoye deposit, micaceous schist, fergusonite, monazite, zircon, granitic magmatism.

Введение

Месторождение плитчатого камня Талатшинское-2 находится в Баймакском районе Республики Башкортостан, в 2 км западнее с. Темясово, на излучине руч. Талатши. Оно было открыто в ходе геологического изучения Талатшинской площади в 2021 году В. Н. Никоновым.

Полезная толща месторождения представляет собой пластообразную субгоризонтальную приповерхностную залежь, сложенную слюдистыми кварцитами и сланцами. Вскрышные породы представлены почвенно-растительным слоем, делювиальными суглинками и выветрелыми сланцами. В разработанном состоянии они представляют щебнисто-глинистую породу (рис. 1). На месторождении выявлены запасы строительного камня, по качеству соответствующего требованиям заказчиков. Для подобного камня нет принятых ГОСТов.

Полезная толща средней мощностью 4 м не обводнена, имеет полого-наклонное до субгоризонтального залегание. Подошва ее, определяющая глубину подсчета запасов, представлена монолитными сланцами.

Ранее поисково-оценочные исследования в интервале глубин до 6 м включали изучение обнажений (карьеров предшественников), топогеодезические работы, проходки шурфов, комплекс опробовательских и лабораторно-аналитических работ. В результате выявлено месторождение строительного камня Талатшинское-2, отнесенное ко второй подгруппе первой группы сложности геологического строения, запасы строительного камня утверждены по категории «С1» в количестве 315 106 м³, в том числе по подсчетному блоку 4С1 — 77 261 м³.

Геологическое строение района

Исследуемая территория расположена у границы восточного крыла антиклинория Уралтау с Магнитогорской мегазоной. Месторождение Талатшинское-2 локализовано в метаморфических породах максюттовской серии среднего рифея (рис. 2).

Максюттовская серия (RF₂mk) сложена кристаллосланцами плагиоклаз-гранат-глаукофановыми, плагио-

Для цитирования: Самигуллин А. А., Никонов В. Н., Савельев Д. Е. Первые данные по петрохимии и минералогии месторождения плитчатого камня Талатшинское-2 (Южный Урал) // Вестник геонаук. 2023. 4(340). С. 14–25. DOI: 10.19110/geov.2023.4.2

For citation: Samigullin A. A., Nikonov V. N., Saveliev D. E. The first petrochemical and mineralogical data of the Talatshinskoye-2 deposit (Southern Urals). Vestnik of Geosciences, 2023, 4(340), pp. 14–25, doi: 10.19110/geov.2023.4.2



клар-гранат-слюдисто-глаукофановыми, глаукофан-слюдисто-плагиоклазовыми, слудисто-кварцевыми, кварцево-слюдистыми, графито-кварцевыми, графит-слюдисто-кварцевыми с прослоями пироксен-гранат-глаукофановых пород, слудистыми и графитистыми кварцитами. Наиболее высокометаморфизованные породы — глаукофановые кристаллосланцы с переменным содержанием граната, плагиоклаза и слюд — обнажаются по долинам правых притоков р. Сакмары — рр. Талатши, Кеуште, Буреле. В долине р. Талатши эти образования отмечаются в виде линз, будин и будинированных прослоев среди толщи пологопадающих на юго-юго-восток кварцево-слюдистых сланцев. Породы смяты в мелкие, от первых до десятков метров, линейные складки. Возраст максютовской серии принимается среднерифейским согласно легенде Южноуральской серии листов (Монтин и др., 2015). Мощность свыше 1 км.

Поляковская свита (O_2pl) фиксируется в разрозненных тектонических пластинах и блоках и пластинах серпентинитового меланжа Главного Уральского разлома (Коптев-Дворников, 1933). Она сложена базальтами, андезибазальтами, глинистыми и кремнисто-глинистыми и кремнистыми, богатыми тонким туфогенным материалом сланцами зеленовато-серыми, серыми, темно-серыми, вишнево-красными, реже осадочными брекчиями и конгломератами. Мощность 100–800 метров.

Кураганская свита (O_{2-3kr}) представлена глинистыми, глинисто-слюдистыми, хлорит-серицитовыми и песчанистыми сланцами, кварцевыми алевролитами и песчаниками. Мощность у западных окраин с. Темясово более 300 м*.



Рис. 1. Зона контакта вскрышных пород и полезной толщи (фото)

Fig. 1. Contact zone between overburden and useful strata (photo)

Курташская свита (O_3kt) представлена кварцитами, часто слудистыми, реже графитовыми, а также слудисто-кварцевыми и кварцево-слюдистыми сланцами (Ожиганов, 1955). Мощность свыше 1 км.

Зилаирская свита (D_3-C_1zl) включает терригенно-карбонатные отложения. Свита представляет собой

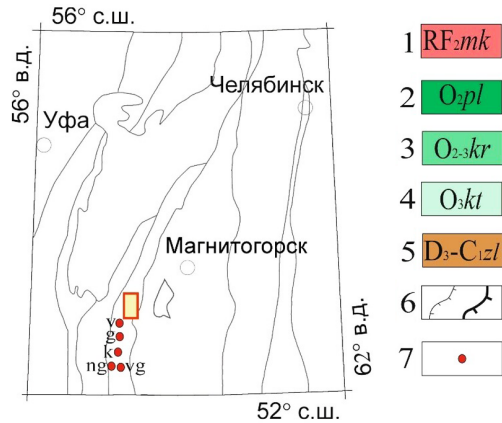


Рис. 2. Фрагмент государственной геологической карты N-40-XXIX (Монтин и др., 2015): 1 — максютовская серия; 2 — поляковская свита; 3 — кураганская свита; 4 — курташская свита; 5 — зилаирская свита; 6 — разрывные нарушения, 7 — иные месторождения плитчатого камня: v — Вознесенское, g — Гайсинское, k — Касимовское, ng — Нижнегалеевское, vg — Верхнегалеевское; 8 — границы крупных геологических структур: БМА — Башкирский мегантиклинорий, У — антиклинорий Уралтау, ЗС — Зилаирский синклиний, ММ — Магнитогорская мегазона

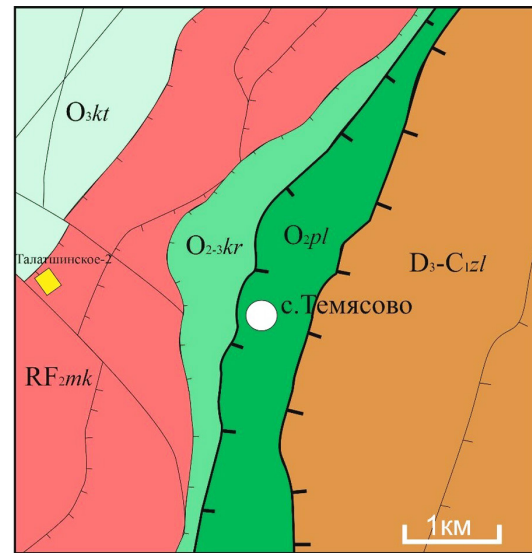


Fig. 2. Fragment of State geological map N-40-XXIX (Montin et al., 2015): 1 — Maksyutov series; 2 — Polykov formation; 3 — Kuragan formation; 4 — Kurtash formation; 5 — Zilair formation, 6 — faults, 7 — other deposits of tilestone: v — Voznesenskoe, g — Gaysinskoe, k — Kasimovskoe, ng — Nizhnegaleevskoe, vg — Verkhnegaleevskoe; 8 — boundaries of large geological structures: БМА — Bashkir meganticlinorium, У — Uraltau anticlinorium, ЗС — Zilair anticlinorium, ММ — Magnitogorsk megazone

* Садрисламов Б. М. Биостратиграфия палеозойских отложений южной части мегантиклинория Уралтау и Зилаирского мегасинклиния: Отчет по объекту: тема АП2/10 / Уфа, ТФ ГГУП «Башгеолцентр», 2001.

* Sadrislamov B. M. Report on the object: topic AP2/10. Biostratigraphy of the Paleozoic deposits of the southern part of the Uraltau megaanticlinorium and the Zilair megasynclinorium. Ufa, Bashgeolcentr, 2001.

достаточно выдержанную по составу толщу полимиктовых песчаников, алевропесчаников, алевролитов, часто известковистых, кремнисто-глинистых, глинистых и углисто-глинистых сланцев, в подчиненном количестве гравелитов, известняков, кремнистых туффитов. Она имеет флишеидный, весьма однообразный облик: в одних случаях ритмы имеют трехчленное строение (песчаники от грубозернистых до мелкозернистых, алевролиты, глинистые сланцы), в других — двухчленное (без глинистых сланцев), среди грубозернистых песчаников встречаются маломощные прослои гравелитов, толщина ритмов — от десятков сантиметров до 2–3 м. Для пород характерна параллельная слоистость, очень редко можно встретить косослоистые пачки (Монтин и др., 2015). Мощность свыше 1 км.

Методика исследований

Были отобраны штучные пробы сланцев весом 300–500 г вкрест простирания юго-восточной стенки карьера через каждые 15 м. При выполнении работы использованы методы оптической и электронной микроскопии. Из образцов было изготовлено 8 петрографических шлифов и 4 пластины, которые изучались под поляризационным микроскопом Zeiss Axioskop 40. Электронно-микроскопические исследования и изучение состава минералов проводились в пластинах на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 4 Compact с энергодисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments. Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета AzTec One с использованием методики TrueQ.

При съемке применялись следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 20 секунд в режиме Point&ID.

Методом рентгенофлуоресцентного анализа в порошковых пробах определялся макроэлементный химический состав пород (спектрометр VRA-30, Carl Zeiss с рентгеновской трубкой с W-анодом (30–40 кВ, 40 мА). Установлены содержания некоторых микроэлементов (Zr, Y, Sr, Rb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, V, Nb, Ga), для большинства из которых предел обнаружения составлял 0.001 мас. %. Все аналитические исследования проведены в ИГ УФИЦ РАН (Уфа).

Результаты

Петрографическая характеристика пород

Исследуемые породы представляют собой слюдисто-кварцевые сланцы зеленоватого, красноватого и светло-коричневого цвета. Породы легко расщепляются на тонкие плитки (рис. 3, а), на поверхности которых отмечаются концентрические рисунки (рис. 3, б), скопления слюдяного материала (рис. 3, с). Иногда обнаруживается грубая полосчатость, фиксирующаяся различной цветовой окраской пород (рис. 3, д).

Текстура пород — сланцеватая и полосчатая, структура — гомеобластовая (рис. 4, а) и лепидогранобластовая (рис. 4, б), в участках отсутствия слюд — гранитовая (рис. 4, с, д). Главные породообразующие минералы — кварц (35 %), калиевый полевой шпат (30 %), мусковит (20 %), альбит (13 %). Кварц обладает изометричным обликом, границы извилистые, выражены

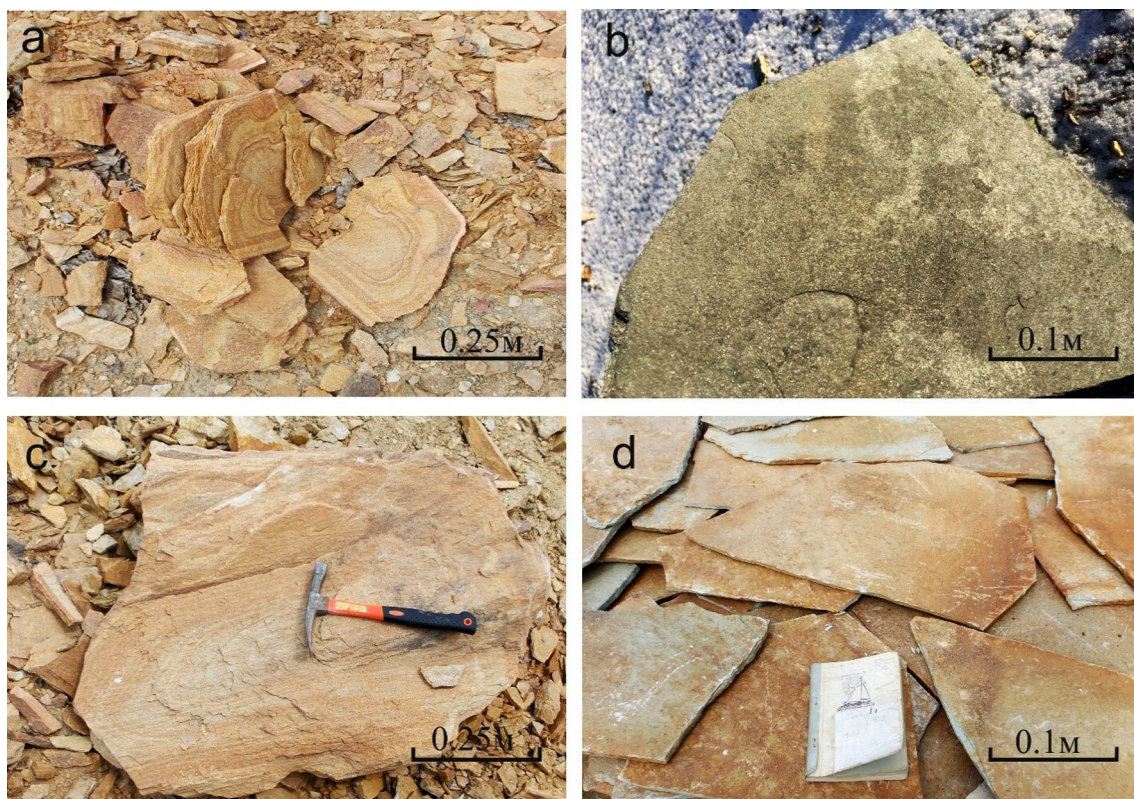


Рис. 3. Образцы плитчатого камня с месторождения Талатшинское-2: а — концентрические рисунки, б — слюдяный плитчатый камень, с — полосчатая текстура, д — тонкие плитки (фото)

Fig. 3. Samples of tiled stones from Talatshinskoe-2 deposit: a — concentric traces, b — mica tilestone, c — striped structure, d — thin tiles (photos)

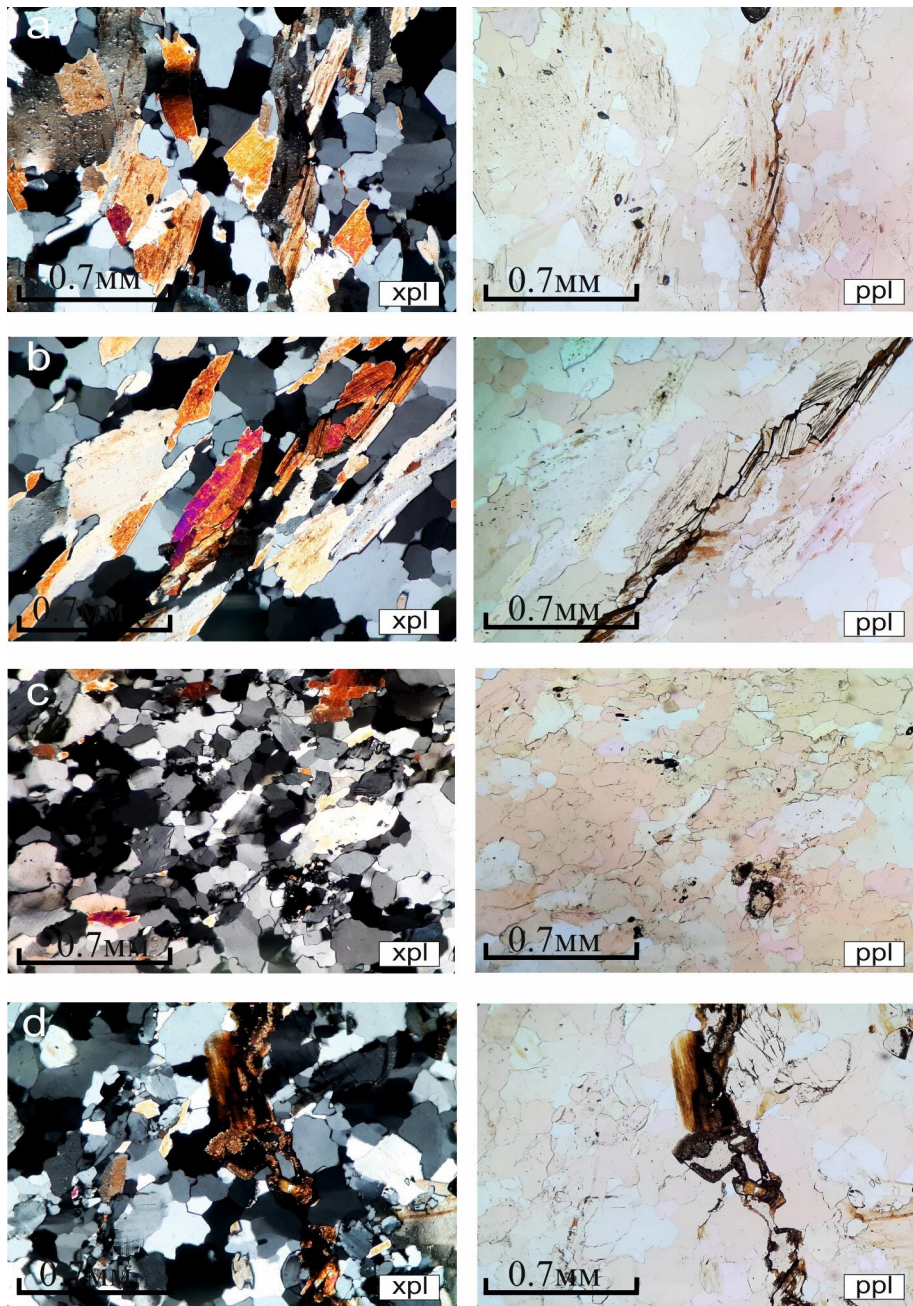


Рис. 4. Петрографические особенности сланцев (в левом столбце с анализатором, в правом — без анализатора): а — железнённый мусковит, б — слюда со следами ожелезнения, с — область породы с низким содержанием слюды, в центре зерно КФШ, д — прожилок из окислов железа и титанита

Fig. 4. Petrographical features of schists (left column — with analyzer, right column — without analyzer): a — ferruginous muscovite, b — micas with traces of ferruginization, c — rock area with a low content of mica, K-feldspar grain in the center, d — veinlet of iron and titanite oxides

нечётко, размеры зёрен 0.1–0.8 мм, средний размер около 0.4 мм. Слюда представлена таблитчатыми зёрнами размерами 0.1–1 мм, границы чётко выражены, по направлению спайности ровные, без извилин, по иным направлениям с неровными, ступенчатыми ограничениями. Калиевый полевой шпат образует зёрна ксеноморфного и изометричного облика, размеры 0.05–0.2 мм, границы извилистые, нечётко выражены. Альбит выполнен таблитчатыми и субизометричными зёрнами размерами 0.03–0.11 мм, границы извилистые, нечёткие. Акцессорные минералы представлены сфеном, цирконом, монацитом, ксенотимом, колумбитом и фергусонитом. Размеры акцессорных минералов менее 0.1 мм.

Химический состав пород

По пороодообразующим элементам сланцы (плитчатый камень) месторождения Талатшинское-2 (табл. 1) сильно отличаются от пород, слагающих другие месторождения антиклинория Уралтау и смежных территорий (табл. 2). На месторождении Талатшинское-2 содержание основных пороодообразующих элементов в сланцах следующее (мас. %): SiO_2 — 69.82–76.28; Al_2O_3 — 13.72–17.5; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — 4.11–9.93; P_2O_5 — 0.16–0.18. Сланцы (плитчатый камень) других месторождений плитчатого камня характеризуются более высокими содержаниями SiO_2 — вплоть до 92.1 мас. %, более низкими содержаниями Al_2O_3 — до 6.13 мас. % и существенно более низкими содержаниями щелочей.



Таблица 1. Содержание петрогенных оксидов (мас. %) и модули сланцев месторождения Талатшинское-2
Table 1. Content of petrogenic oxides (wt. %) and modules of the schists of Talatshinskoe-2 deposit

Element	Ta-1	Ta-2	Ta-3	Ta-4	Ta-5	Ta-6	Ta-7	Ta-8
SiO ₂	71.84	70.58	69.91	76.28	70.12	71.82	69.82	72.23
TiO ₂	0.16	0.17	0.18	0.12	0.20	0.19	0.20	0.19
Al ₂ O ₃	16.48	17.50	17.04	13.72	17.02	15.42	17.12	15.39
Fe ₂ O ₃	2.77	2.12	2.12	2.92	2.45	2.80	1.92	2.80
FeO	0.21	0.48	0.38	0.22	0.76	0.31	0.49	0.32
MnO	0.07	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02	0.04
CaO	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
MgO	0.46	0.42	0.31	0.38	0.26	0.30	0.26	0.35
Na ₂ O	0.28	1.94	2.08	0.26	3.73	0.47	3.35	0.42
K ₂ O	4.76	5.62	6.24	3.85	6.19	6.40	6.09	5.92
P ₂ O ₅	0.16	0.16	0.16	0.18	0.17	0.17	0.17	0.17
Собщ	0.15	0.01	0.01	< 0,01	0.01	0.06	0.01	0.06
ППП / LOI	1.69	1.21	0.98	1.28	0.58	1.41	0.68	1.57
Сумма / Total	99.03	100.26	99.44	99.24	100.51	99.36	100.13	99.46
HKM	0.31	0.43	0.49	0.30	0.58	0.45	0.55	0.41
ГМ	0.27	0.29	0.28	0.22	0.28	0.26	0.28	0.26
Na ₂ O+K ₂ O	5.04	7.56	8.32	4.11	9.92	6.87	9.44	6.34

Примечание: HKM = (Na₂O + K₂O)/Al₂O₃; ГМ = Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO/SiO₂ (Юдович, Кетрис, 2000).

Note: HKM = (Na₂O + K₂O)/Al₂O₃; ГМ = Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃ + FeO/SiO₂ (Judovich, Ketriss, 2000).

Таблица 2. Содержание петрогенных компонентов в месторождениях плитчатого камня антиклинория Уралтау (мас. %) (Захаров, Аржавитина, 2007)

Table 2. Composition of petrochemical components of building stone deposits of Uraltau anticlinorium (wt. %) (Zakharov, Arzhavitina, 2007)

№ п/п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	п.п.п. LOI	Сумма Total
1	89.19	3.10	4.10	0.12	1.87	0.33	0.23	0.14	99.87
2	87.17	2.78	6.15	0.14	1.36	0.36	0.25	0.08	98.97
3	91.19	3.20	2.10	0.07	1.19	0.29	0.45	0.62	99.57
4	84.69	6.13	4.22	0.40	2.52	0.32	0.38	0.09	99.95
5	89.06	3.12	4.60	0.18	1.66	0.32	0.16	0.14	99.98
6	91.10	3.25	2.11	0.08	1.21	0.30	0.46	0.65	99.63
7	89.10	4.30	2.20	0.15	1.45	0.35	0.45	0.73	99.8
8	88.96	2.40	5.10	0.11	1.40	0.43	0.22	0.10	99.92
9	90.05	4.22	2.00	0.15	1.40	0.34	0.45	0.77	99.85
10	87.50	5.10	2.75	0.10	1.70	0.6	0.59	0.73	99.67
11	87.60	5.00	2.83	0.10	1.70	0.5	0.59	0.70	99.627
12	87.60	7.00	1.23	0.40	0.33	0.58	0.67	1.10	99.58
13	92.83	2.09	1.38	0.11	0.08	0.27	0.70	1.73	99.54
14	92.15	4.13	1.71	0.33	0.03	0.12	0.79	0.08	100.24
15	90.19	2.9	4.10	0.07	1.13	0.39	0.39	0.56	99.73
16	87.93	5.12	4.12	0.39	1.17	0.31	0.38	0.34	99.76
17	88.66	4.12	4.35	0.18	1.88	0.29	0.18	0.24	99.9
18	92.10	3.12	1.79	0.08	1.21	0.30	0.44	0.61	99.65
19	90.12	4.15	2.27	0.13	1.54	0.35	0.33	0.69	99.58

Примечание: 1–4 – Нижнегалеевская площадь, 5–8 – Верхнегалеевская площадь, 9–12 – Вознесенский участок, 13–16 – Гайсинский участок, 17–19 – Касимовский участок.

Note: 1–4 – Nizhnegaleevskaya area, 5–8 – Verkhnegaleevskaya area, 9–12 – Voznesenkiy site, 13–16 – Gaysinskiy site, 17–19 – Kasimovskiy site.



Модуль НКМ 0.3–0.58 (табл. 1) позволяет сделать вывод о нахождении в породе неизменённого калиевого полевого шпата и об участии в составе протолита магматического материала (Юдович, Кертис, 2000).

По химическому составу сланцы Талатшинского месторождения отличаются не только от сланцев иных месторождений плитчатого камня зоны Уралтау, но и от типоморфных сланцев в составе максютовской серии (Захаров, Аржавитина, 2007).

Содержание некоторых микроэлементов в сланцах месторождения Талатшинское-2 несвойственно породам осадочного происхождения (табл. 3). Так, со-

держание ниобия до 51 ppm характерно для магматических кислых щелочных пород (Григорьев, 2009), тогда как в осадочных породах количество этого элемента составляет 15–20 ppm. Содержания иттрия в исследуемых породах 51–62 ppm, что также более характерно для кислых щелочных магматических образований. Так, среднее содержание этого элемента в кислых щелочных породах может достигать 60 220 ppm (Коваленко, 1977; Самойлов, 1984), тогда как в осадочных образованиях — 22–30 ppm. Высокое содержание Zr (313–436 ppm) является характерным для субщелочных гранитоидов (Григорьев, 2009).

Таблица 3. Содержание микроэлементов в сланцах месторождения Талатшинское-2 (ppm)

Table 3. The content of trace elements in the shales of the Talatshinskoye-2 deposit (ppm)

Element	Ta-1	Ta-2	Ta-3	Ta-4	Ta-5	Ta-6	Ta-7	Ta-8
Zr	414	421	395	375	436	313	406	363
Y	58	55	58	56	51	52	51	62
Sr	15	15	17	9	19	22	18	22
Rb	160	194	199	159	181	202	185	180
Zn	147	96	162	83	64	137	89	120
Cu	7	7	5	7	13	12	11	9
Ni	13	16	15	14	15	13	15	14
Co	4	1	1	1	1	1	1	1
Cr	17	1	1	19	1	19	1	17
V	42	52	46	34	48	55	47	50
Nb	51	52	51	48	52	49	51	50
Ga	26	26	22	25	22	23	23	22

Минералогическая характеристика пород

Породообразующие минералы представлены кварцем, калиевым полевым шпатом, альбитом и мусковитом. Размеры породообразующих минералов приведены в разделе «Петрографическая характеристика пород». Аксессуарные минералы представлены цирконом, монацитом, ксенотимом, колумбитом и фергюсонитом.

Калиевый полевой шпат ($K_{0.93-0.97}Ba_{0.02-0.04}Na_{0.01-0.03}O_{0.99-1.01}[Al_{1.25-1.38}Si_{2.62-2.75}O_8]$) содержит небольшие примеси Na_2O (до 0.37 мас. %) и Ba_2O (до 0.42 мас. %) (табл. 4). Облик зёрен ксеноморфный. В отдельных случаях содержание калиевого полевого шпата существенно выше содержаний кварца и мусковита и достигает в некоторых образцах 35 % от общего объёма, что является необычным для сланцев максютовской серии (рис. 5, а).

Плагиоклаз ($Na_{0.98-0.99}K_{0.1}O_{0.99-1}[Al_{1.12-1.25}Si_{2.75-2.88}O_8]$) альбитизирован. CaO отсутствует. Есть небольшая примесь K_2O (до 0.1 мас. %) (табл. 5). Зёрна имеют ксеноморфный облик.

Слюда в рассматриваемых породах представлена мусковитом $K_{0.98-1.01}(Al_{1.68-1.71}Fe_{0.16-0.21}Ti_{0.04-0.05}Mg_{0.04})_{1.96-2.01}[Al_1Si_3O_{10}]$ с примесью MgO — до 0.56, TiO_2 — до 0.57, FeO — до 3.72 мас. % (табл. 6). Отдельные участки чешуек слюд обладают более ярким свечением при изучении на электронном микроскопе, что связано с повышенным содержанием в них FeO .

Таблица 4. Химический состав калиевого полевого шпата (мас. %)

Table 4. Chemical composition of potassium feldspar (wt. %)

№ п/п	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	BaO	Сумма Total
1	0.32	18.88	63.28	16.50	0.28	99.26
2	0.28	18.99	63.88	16.85	0.30	100.30
3	0.22	18.87	64.16	17.10	-	100.35
4	0.27	18.46	65.45	16.10	0.37	100.65
5	0.32	18.76	63.65	16.78	0.32	99.83
6	0.33	19.20	64.29	17.06	0.36	101.24
7	0.36	19.29	64.65	16.91	0.42	101.63
8	0.37	19.27	64.76	17.03	-	101.43
9	0.27	19.15	64.25	16.88	0.38	100.93

Таблица 5. Химический состав плагиоклаза (мас. %)

Table 5. Chemical composition of plagioclase (wt. %)

№ п/п	Na_2O	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	Всего Total
1	11.31	20.27	69.18	0.07	100.82
2	11.20	20.16	69.11	0.07	100.53
3	11.16	20.30	68.97	0.10	100.52
4	11.18	20.02	68.75	0.08	100.03

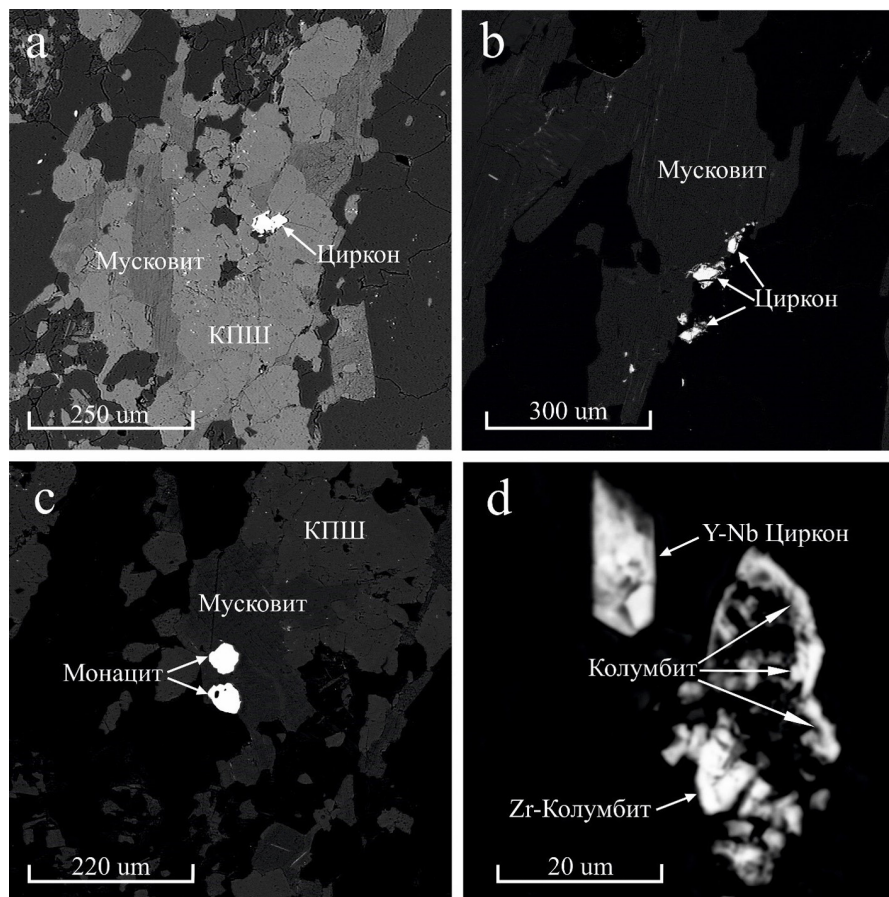


Рис. 5. BSE-изображения структур пород и редкометалльно-редкоземельных аксессуарных минералов: а – гранитовая структура породы; б – циркон; с – монацит в мусковите; d – Zr-колумбит (колумбит с высоким содержанием циркония), Y-Nb-циркон (циркон со значительным содержанием иттрия и ниобия)

Fig. 5. BSE-images of rock textures and rare metal-rare earth accessory minerals: a – granitic texture; b – zircon; c – monazite inside muscovite; d – Zr-columbite, Y-Nb-zircon (zircon with a significant composition of yttrium and niobium)

Таблица 6. Химический состав мусковита (мас. %)

Table 6. Chemical composition of muscovite (wt. %)

№ п/п	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	FeO	Всего Total
1	0.56	30.97	47.20	11.42	0.40	3.72	94.26
2	0.53	32.74	47.02	11.59	0.57	2.77	95.22
3	0.50	33.21	46.25	11.50	0.36	2.87	95.02
4	0.46	33.32	47.99	11.67	0.46	3.02	97.19
5	0.44	32.95	48.15	11.66	0.43	3.19	96.82
6	0.50	32.66	46.65	11.64	0.59	2.91	94.94

Таблица 7. Химический состав циркона (мас. %)

Table 7. Chemical composition of zircon (wt.%)

№ п/п	SiO ₂	ZrO ₂	Hf ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	ThO ₂	Ta ₂ O ₅	Всего Total
1	31.28	66.96	1.06	–	–	–	–	99.3
2	31.2	66.44	2.19	–	–	–	–	99.83
3	32.2	67.56	1.42	–	–	–	–	101.18
4	32.51	65.74	1.04	–	–	–	–	99.29
5	32.37	66.27	1.18	–	–	–	–	99.82
6	30.56	60.94	1.41	2.04	3.51	0.66	–	99.12
7	28.83	57.28	1.60	3.94	5.21	2.11	1.45	100.42

Характерной особенностью циркона ($(\text{Zr}_{0.84-0.94}\text{Nb}_{0.03-0.06}\text{Y}_{0.02-0.04}\text{Th}_{0.01-0.02}\text{Hf}_{0.01-0.02}\text{Ta}_{0.01})_{0.96-1.03}[\text{Si}_{0.98-1.01}\text{O}_4]$) является примесь редкометалльных и редкоземельных элементов. Содержания Hf₂O₃ – до 2.19, Y₂O₃ – до 3.94, Nb₂O₅ – до 5.21, Th₂O₃ – до 2.11, Ta₂O₅ – до 1.45 мас. % (табл. 7). Зёрна имеют ксеноморфный и идиоморфный облик, размер 10–100 мк (рис. 5, б).

Монацит с общей формулой $(\text{Ce}_{0.41-0.45}\text{Nd}_{0.21-0.24}\text{La}_{0.19-0.23}\text{Pr}_{0.05-0.06}\text{Sm}_{0.04-0.05}\text{Gd}_{0.02-0.03}\text{Th}_{0-0.01}\text{Eu}_{0-0.01}\text{Y}_{0-0.01}\text{Dy}_{0-0.01})_{0.96-1.05}[\text{P}_{0.99-1.01}\text{O}_4]$ представлен ксеноморфными зёрнами с субизометричным обликом. Размеры зерен – до 65 мк (рис. 5, с). Особенностью изученных монацитов является присутствие HREE: Gd₂O₃ – до 1.96, Dy₂O₃ – до 0.63, а также Th₂O₃ – до 1.18 мас. % (табл. 8).

Колумбит с общей формулой $(\text{Fe}_{0.85-0.94}\text{Zr}_{0.04-0.07}\text{Th}_{0.03-0.04}\text{K}_{0.01-0.02}\text{Ce}_{0-0.01}\text{Nd}_{0-0.01})_{1-1.02}(\text{Nb}_{1.89-1.94}\text{Ta}_{0.04-0.06}\text{Ti}_{0.03-0.05})_{1.98-2.01}\text{O}_6$ представлен ксеноморфными зёрнами с размером до 20 мк (рис. 5, d). Характерными являются примеси Zr₂O₃ – до 4.05, Ta₂O₅ – до 2.97, Ce₂O₃ – до 0.37, Nd₂O₃ – до 0.32, Th₂O₃ – до 2.02 мас. % (табл. 9). Колумбит образуется срастания с ниобийсодержащим цирконом. Присутствуют отдельные переходные области между цирконом и колумбитом, где содержание Ta₂O₅ достигает 9.52 мас. % (рис. 5, d).



Таблица 8. Химический состав монацита (мас. %)

Table 8. Chemical composition of monazite (wt. %)

№ п/п	P ₂ O ₅	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	ThO ₂	Vсего Total
1	30.55	–	13.81	30.84	3.17	15.03	2.99	–	1.7	0.59	0.83	99.51
2	30.15	–	14.41	31.36	2.95	14.51	2.79	0.88	1.84	–	1.18	100.07
3	29.65	–	14.79	30.91	3.3	14.76	2.89	0.83	1.96	–	0.72	99.81
4	30.45	–	15.13	31.56	3.24	14.27	2.97	–	1.61	–	0.68	99.91
5	30.46	–	14.32	31.08	3.20	14.88	2.64	–	1.80	–	0.95	99.33
6	30.74	0.83	15.84	28.42	3.44	15.55	2.66	–	1.91	0.63	0.53	100.55

Таблица 9. Химический состав колумбита (мас. %)

Table 9. Chemical composition of columbite (wt. %)

№ п/п	K ₂ O	TiO ₂	FeO	Zr ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	ThO ₂	Vсего Total
1	0.73	3.36	21.54	3.20	65.59	–	–	2.91	1.83	100.1
2	0.64	3.38	19.82	3.52	66.4	0.37	–	2.97	2.02	101.1
3	1.06	2.95	20.65	2.86	67.65	–	0.32	2.12	1.68	102.2
4	0.87	3.70	21.02	2.55	66.66	–	–	2.71	1.79	103.3
5	2.18	3.29	19.62	4.05	66.82	–	–	2.90	1.80	105.6

Таблица 10. Химический состав фергюсонита (мас.%)

Table 10. Chemical composition of fergusonite (wt. %)

Element	1	2	3	4
TiO ₂	0.44	0.42	0.33	0.41
As ₂ O ₃	1.18	1.65	1.82	1.01
Y ₂ O ₃	30.81	31.06	31.24	30.3
Nb ₂ O ₅	46.14	46.08	46.25	46.85
Nd ₂ O ₃	0.91	0.76	0.62	0.53
Sm ₂ O ₃	1.25	1.19	1.11	1.17
Gd ₂ O ₃	3.07	3.08	2.91	3.26
Dy ₂ O ₃	5.67	5.51	5.89	5.98
Ho ₂ O ₃	1.09	0.92	1.27	1.16
Er ₂ O ₃	3.14	2.96	3.50	3.31
Yb ₂ O ₃	1.76	1.97	2.33	2.35
Ta ₂ O ₅	1.53	1.93	1.81	1.86
ThO ₂	2.13	1.82	1.08	1.89
UO ₂	0.59	0.63	0.62	1
Vсего / Total	99.71	100	100.77	101.07

Кристаллохимические формулы / Crystal-chemical formulas:

- $(Y_{0.73}Dy_{0.08}Gd_{0.04}Er_{0.04}Yb_{0.02}Nd_{0.01}Sm_{0.01}Ho_{0.01})_{0.94}(Nb_{0.95}U_{0.02}Th_{0.02}Ta_{0.01}Ti_{0.01})_{0.99}O_4$;
- $(Y_{0.74}Dy_{0.08}Gd_{0.05}Er_{0.04}Yb_{0.03}Sm_{0.02}Nd_{0.01}Ho_{0.01})_{0.98}(Nb_{0.95}Th_{0.06}U_{0.02}Ta_{0.02}Ti_{0.01})_{1.04}O_4$;
- $(Y_{0.74}Dy_{0.08}Er_{0.05}Gd_{0.04}Yb_{0.03}Sm_{0.02}Ho_{0.02}Nd_{0.01})_{0.99}(Nb_{0.95}U_{0.02}Ta_{0.02}Th_{0.01}Ti_{0.01})_{0.99}O_4$;
- $(Y_{0.71}Dy_{0.09}Gd_{0.05}Er_{0.05}Yb_{0.03}Sm_{0.02}Ho_{0.02}Nd_{0.01})_{0.98}(Nb_{0.94}U_{0.03}Th_{0.02}Ta_{0.02}Ti_{0.01})_{1.02}O_4$.

При изучении сланцев месторождения Талатшинское-2 была сделана первая находка минерала фергюсонит в пределах антиклинория Уралтау. Характерной особенностью фергюсонита с этого месторождения является примесь As₂O₃ — до 1.82; ThO₂ — до 2.13; UO₂ — до 1 мас. % (табл. 10). Крайне редко встречающееся аномально высокое (до 5.98 мас. %) содержание Dy позволяет называть найденный минерал Ду-фергюсонитом. Фергюсонит локализован внутри зёрен калиевого полевого шпата, представлен ксеноморфными зёрнами скелетного (рис. 6, а) и субизометричного облика (рис. 6, b).

Описанная выше Nb-Ta-Y-минералогическая ассоциация нетипична для сланцев и кварцитов максютовской серии, но является типоморфной для гранитоидов субщелочного и щелочного ряда, в том числе в более северной части Уралтау (вендский барангуловский интрузивный комплекс в Учалинском районе Башкортостана) (Алексеев, 1976; Сначёв и др., 2012; Сначёв, 2017).

Обсуждение результатов

В результате проведённых петрографических, петрохимических и минералогических исследований было установлено несоответствие полученных нами данных с прежними представлениями о строении максютовской серии в районе месторождения Талатшинское-2.

Как следует из диаграмм на рис. 7, метаморфические образования исследуемого объекта образовались в условиях пассивной континентальной окраины (рис. 7, а, b). Однако по современным представлениям структура Уралтау в целом — это реликт активной континентальной окраины, а максютовская серия в частности — аккреционная призма (Пучков, 2010). Следовательно, столь повышенное содержание щело-

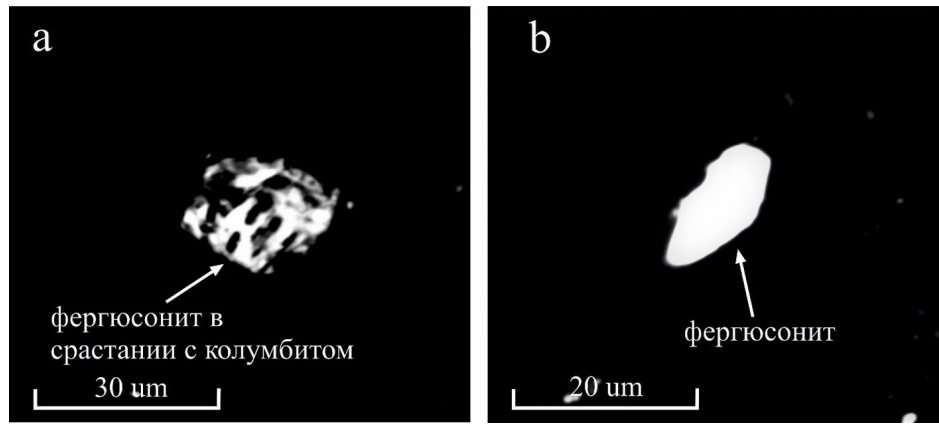


Рис. 6. BSE-изображение фергюсонита
Fig. 6. BSE-image of fergusonite

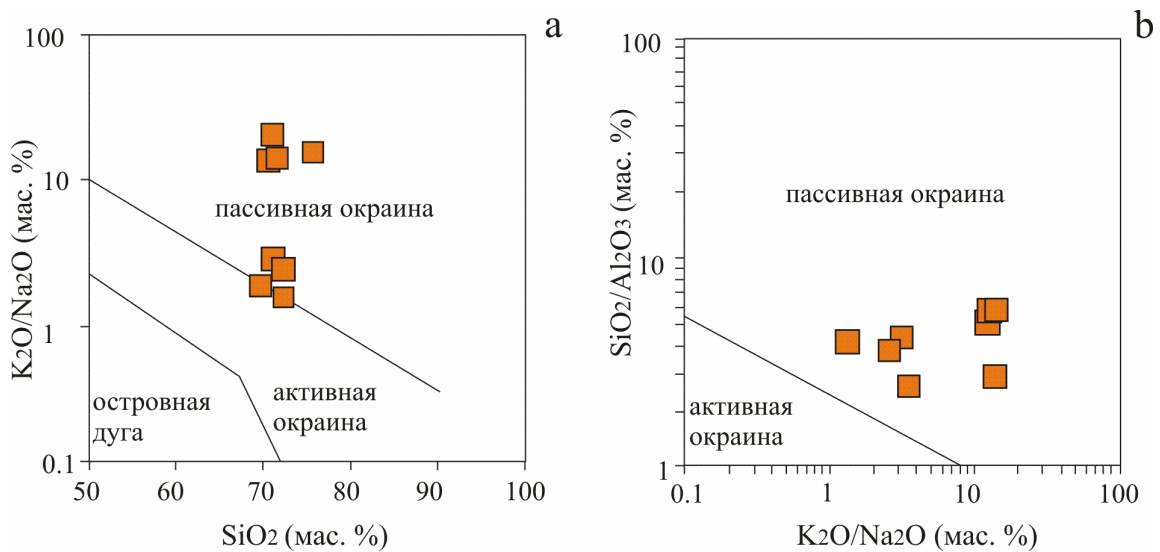


Рис. 7. Диаграмма геодинамической обстановки образования протолитов метаморфических пород:
a – $K_2O/Na_2O - SiO_2$ (Roser, Korsch, 1988); b – $SiO_2/Al_2O_3 - K_2O/Na_2O$ (Maynard, 1982)
Fig. 7. Diagram of the geodynamic setting for the formation of protoliths of metamorphic rocks:
a – $K_2O/Na_2O - SiO_2$ (Roser, Korsch, 1988); b – $SiO_2/Al_2O_3 - K_2O/Na_2O$ (Maynard, 1982)

чей и соотношение петрогенных оксидов в изученных породах объясняется либо результатом их вторичного изменения, либо тем, что протолитом были не осадочные образования.

Принимая за основу концепцию об изохимическом характере регионального метаморфизма (Ронов и др., 1990; Фации ..., 1982; Mehnert, 1969; Shaw, 1970) и модуль НКМ 0.3–0.58, свидетельствующий о наличии в породе неизменённого калиевого полевого шпата, изученные породы можно отнести к магматическим образованиям. Отношение содержаний $SiO_2 - TiO_2$ (рис. 8, а) свидетельствует о магматическом протолите (Tarrey et al., 1976). Соотношение ГМ к общей щёлочности (рис. 8, b) также подтверждает магматический источник. Перед построением диаграммы Доморацкого (рис. 8, с) вычисляются относительные массовые содержания петрогенных оксидов, являющихся координатами диаграммы, сумма которых равна 100 %. Таким образом, на диаграмме Доморацкого (рис. 9, с) содержания $SiO_2 - 81.11 - 82.16$, $Al_2O_3 - 17.5 - 19.11$, $CaO - 0.18 - 0.22$ отн. дол. %, фигуративные точ-

ки расположены внутри полей магматического протолита кислого состава. Особенности химического и минералогического состава пород указывают на то, что их протолитами могли быть субщелочные и щелочные гранитоиды: для них характерно высокое содержание щелочей и редкометалльно-редкоземельная минерализация.

На классификационной диаграмме для изменённых и метаморфизованных магматических пород образцы исследуемого объекта попадают в поле кислых пород и известково-щелочного тренда (рис. 9).

На диаграмме, приведенной на рис. 10, где использованы наименее подвижные микроэлементы для установления магматического протолита метавулканических образований, фигуративные точки составов пород месторождения тяготеют к пограничной зоне между щелочными риолитами и трахитами (Pearce, 1996). В оригинальной интерпретации они целиком попадают в область щелочных риолитов (Winchester, Floyd, 1977).

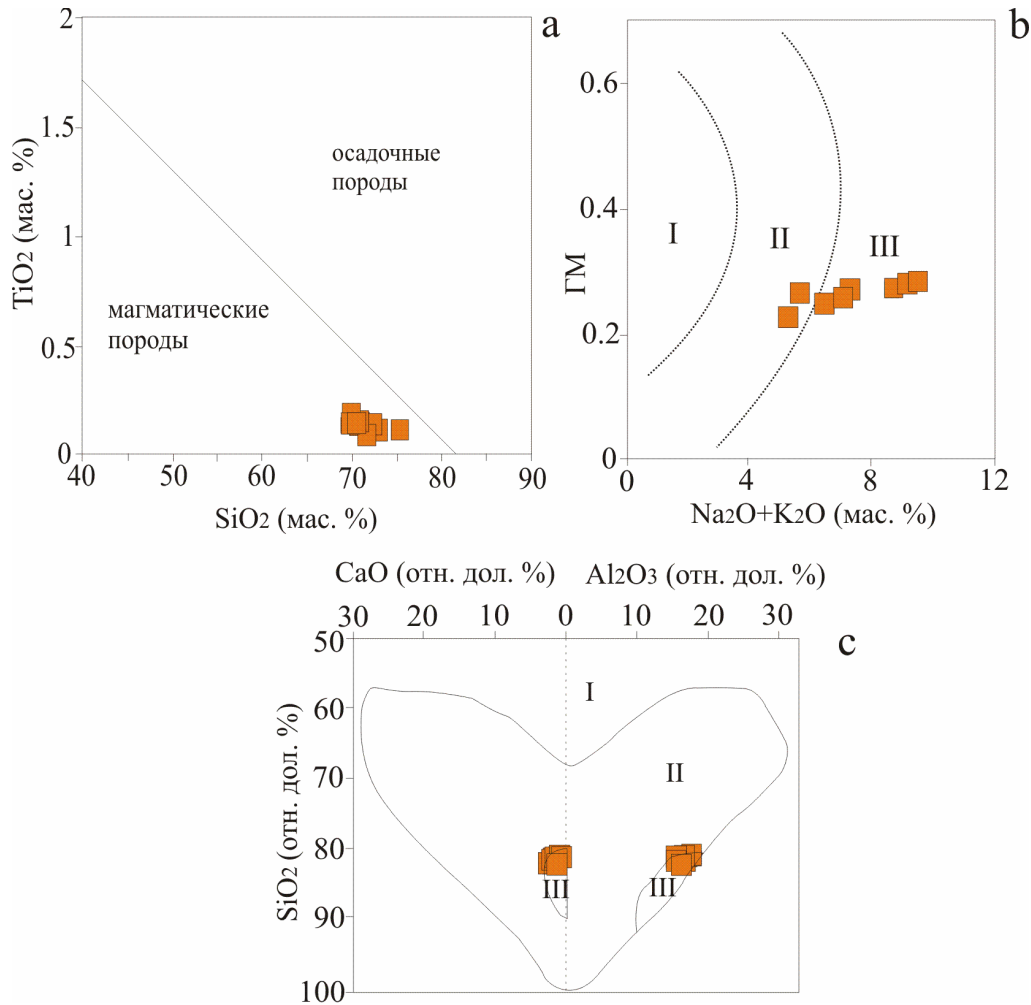


Рис. 8. Реконструкция протолита: а – $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ (Tarrey et al., 1976); б – $\text{GM} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$: I – карбонатные породы, II – терригенные породы, III – магматические породы (Юдович, Кетрис, 2000); с – диаграмма Доморацкого, в которой сумма петрогенных оксидов, участвующих в построении, принимается за 100 %, I – осадочные породы, II – магматические породы, III – магматические породы кислого состава (Доморацкий, 1964)

Fig. 8. Protolith reconstruction: а – $\text{SiO}_2\text{--TiO}_2$ (Tarrey et al., 1976); б – $\text{GM} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$: I – carbonate rocks, II – terrigenous rocks, III – magmatic rocks (Judovich, Kertis, 2000; Zagorodnyi, 1980); с – the Domoratsky diagram, in which the sum of petrogenic oxides involved in the construction is taken as 100 %, I – sedimentary rocks, II – magmatic rocks, III – felsic magmatic rocks (Domoratskiy, 1964)

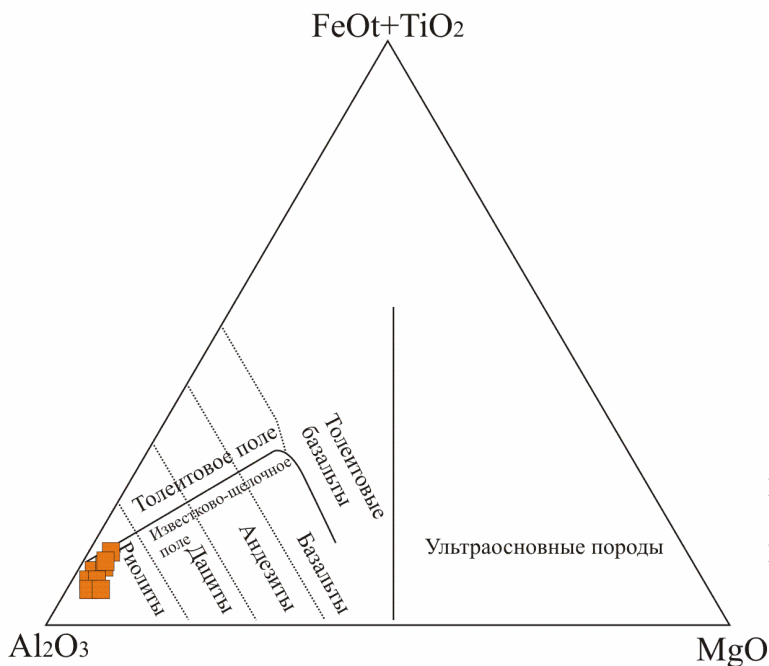


Рис. 9. Диаграмма для метаматматических образований (Jensen, 1976)

Fig. 9. Diagram for metamagmatic rocks (Jensen, 1976)

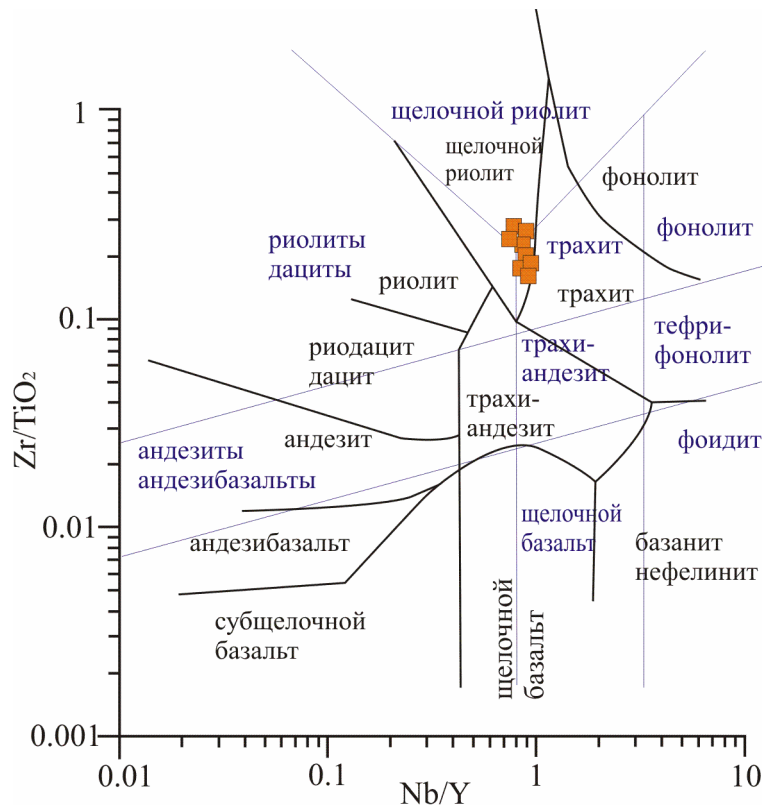


Рис. 10. Диаграмма классификации измененных метавулкаников на основе микроэлементов (Winchester, Floyd, 1977; Pearce, 1996). Оригинальные поля и наименования, ограниченные линиями чёрного цвета (Winchester, Floyd, 1996). Поля и наименования, ограниченные линиями синего цвета, переопределены Дж. Пирсом (Pearce, 1996)

Fig. 10. Classification diagram of altered metavolcanic rocks based on microelements (Winchester, Floyd, 1977; Pearce, 1996). Original fields and names are black coloured (Winchester, Floyd, 1977). Blue fields and names were redefined (Pearce, 1996)

Кроме того, несмотря на высокую степень метаморфизма, в сланцах отчётливо видны реликты гранитовой структуры, а ориентировка их сланцеватости северо-западная, тогда как генеральное простирание пород максютовской серии северо-восточное.

Выводы

Породы месторождения Талатшинское-2 обладают нетипичными петрохимическими характеристиками, резко отличными от пород максютовской серии антиклинория Уралтау. Это выражается в пониженном содержании в породах SiO_2 и в повышенных содержаниях Al_2O_3 и $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$. Петрографические особенности указывают на то, что на отдельных участках породы сохранили первичную гранитовую структуру. Породообразующие минералы представлены кварцем, альбитом и калиевым полевым шпатом примерно в одинаковом соотношении, мусковит имеет подчинённое значение. Впервые в пределах антиклинория Уралтау обнаружен фергусонит с высоким содержанием Dy. Редкометалльно-редкоземельная Y-Nb-Таминерализация с примесью Th, Hf и U, представленная ассоциацией фергусонита, колумбита, монацита и циркона, является типоморфной для субщелочных гранитоидов. Валовые содержания ниобия в изучаемых сланцах характерны для щелочных и кислых пород. Ориентировка сланцеватости в породах месторождения дискордантна по отношению к простиранию окружающих образований. Совокупность вышеуказанных признаков указывает на то, что протолитом

для сланцев (плиточного камня) месторождения Талатшинское-2 являются не осадочные, а магматические породы — субщелочные гранитоиды, претерпевшие региональный метаморфизм с утратой первичного облика интрузивных пород, ставшие внешне неотличимыми от обычных кристаллических сланцев максютовской серии.

Автор благодарит рецензентов за полезные замечания и уточнения при подготовке статьи.

Работа выполнена в рамках госзадания ИГ УФИЦ РАН (тема № FMRS-2022-0012).

Литература / References

- Алексеев А. А. Магматические комплексы зоны хребта Урал-тау. М.: Наука, 1976. 226 с.
 Alekseev A. A. *Magmatic complexes of the Ural-tau ridge zone*. Moscow: Nauka, 1976, 226 p.
- Григорьев Н. А. Распределения химических элементов в верхней части земной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 376 с.
 Grigoriev N. A. *Raspredelenie khimicheskikh elementov vverkhney chasti zemnoy kory*. (Distributions of chemical elements in the upper part of the earth's crust). Yekaterinburg: UB RAS, 2009, 376 p.
- Доморацкий Н. А. Определение первичной природы метаморфических пород по содержанию в них инертных компонентов // Петрографические формации и проблемы петрогенезиса. М.: Наука, 1964. С. 166—179.



- Domoratskiy N. A. *Opređenje pervichnoj prirody metamorficheskikh porod po sodержaniyu v nih inertnykh komponentov* (Determination of the primary nature of metamorphic rocks by the content of inert components in them). *Petrograficheskie formacii i problemy petrogenezisa* (Petrographic formations and problems of petrogenesis). Moscow: Nauka, 1964, pp. 166–179.
- Захаров О. А., Аржавитина М. Ю. Геология и геохимия максютовского комплекса зоны Уралтау. Уфа: Гилем, 2007. 91 с.
- Zaharov O. A., Arzhavitina M. Yu. *Geologiya i geokhimiya maksyutovskogo kompleksa zony Uraltau* (Geology and geochemistry of the Maksyutov complex of the Uraltau zone). Ufa: Gilem, 2007, 91 p.
- Коваленко В. И. Петрология и геохимия редкометалльных гранитоидов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 206 с.
- Kovalenko V. I. *Petrologiya i geokhimiya redkometalnykh granitoidov* (Petrology and geochemistry of rare metal granitoids). Novosibirsk: Nauka, 1977, 206 p.
- Коптев-Дворников В. С. Отчет о работах по составлению геологической карты масштаба 1 : 25 000 для южной части Миасского р-на Челябинской области и северной части Учалинского района (БАССР). 1933. Т. 1–2.
- Koptev-Dvornikov V. S. Report on the work on compiling a geological map at a scale of 1 : 25,000 for the southern part of the Miass district of the Chelyabinsk region and the northern part of the Uchalinsky district (BASSR). 1933. V. 1–2
- Монтин С. А., Левина Н. Б., Батрак И. Е. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Южно-Уральская. Лист N-40-XXIX – Сибай. Объяснительная записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015. 218 с.
- Montin S. A., Levina N. B., Batrak I. E. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. Second edition. Series South Urals. Sheet N-40-XXIX Sibay. Explanatory note. Moscow: VSEGEI, 2015, 218 p.
- Ожиганов Д. Г. Стратиграфия и фациальные особенности силурийских отложений западного склона Южного Урала // Ученые записки Башгосуниверситета, 1955. Вып. 4. С. 55–92.
- Ozhiganov D. G. *Stratigrafiya i facial'nye osobennosti silurijskikh otlozhenij zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala* (Stratigraphy and facies features of the Silurian deposits of the western slope of the Southern Urals). Proceedings of Bashkir University, 1955, 4, pp. 55–92.
- Первые находки Та-Nb-минерализации в гранитоидах западного склона Южного Урала / В. И. Сначев, Д. Е. Савельев, А. В. Сначев и др. // ДАН. 2012. Т. 445. № 4. С. 441–444.
- Pervye nahodki Ta-Nb-mineralizacii v granitoidah zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (First findings of Ta-Nb-mineralization in granitoids of the western slope of the Southern Urals). V.I. Snachev, D.E. Savel'ev, A.V. Snachev et al. Doklady Earth Sciences, 2012, V. 445, No. 4, pp. 441–444.
- Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)). Ufa: DizajnPoligrafServis, 2010, 280 p.
- Ронов А. Б., Ярошевский А. А., Мигдисов А. А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М.: Наука, 1990. 184 с.
- Ronov A. B., Yaroshevskij A. A., Migdisov A. A. *Himicheskoe stroenie zemnoj kory i geokhimicheskij balans glavnykh elementov* (The chemical structure of the earth's crust and the geochemical balance of the main elements.). Moscow: Nauka, 1990, 184 p.
- Самойлов В. С. Геохимия карбонатитов. М.: Наука, 1984. 190 с.
- Samoylov V. S. *Geokhimiya karbonatitov* (Geochemistry of carbonatites). Moscow: Nauka, 1984, 190 p.
- Сначёв В. И. Перспективы гранитоидов Барангуловского массива на тантал-ниобиевое оруденение, зона Уралтау // Руды и металлы. 2017. № 1. С. 33–39.
- Snachyov V. I. *Perspektivy granitoidov Barangulovskogo massiva na tantal-niobievoe orudnenie, zona Uraltau. Rudy imetally (1)* (Prospects of granitoids of the Barangulovsky massif for tantalum-niobium mineralization, Uraltau zone. Ores and metals (1)), 2017, pp. 33–39.
- Юдович Я. Э., Керпус М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
- Judovich Ja. Je., Ketris M. P. *Osnovy litohimii* (Fundamentals of lithochemistry). St. Petersburg: Nauka, 2000, 479 p.
- Jensen L. S. A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks. Miscellaneous, Ontario Department of Mines, 1976, 22 p.
- Maynard J. B., Valloni R., Yu H.-Sh. Composition of modern deep-sea sands from arc-related basins. Geol. Soc. Spec. Publs. L., 1982, no. 10. pp. 551–561.
- Mehnert K. R. Composition and abundance of common metamorphic rock types // Handbook of geochemistry. B.: Springer, 1969. V. 1. P. 272–296
- Pearce, J. A. A User's Guide to Basalt Discrimination Diagrams. In: Wyman, D. A., Ed., Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration, Geological Association of Canada, Short Course Notes, Vol. 12, 1996 p. 79–113.
- Roser, B. P., Korsch, R. J. Provenance Signature of Sandstone-Mudstone Suites Determined Using Discriminant Function Analysis of Major Element Data. Chemical Geology, 67, 1988, 119–139p.
- Shaw D. M. Trace element fractionation during anataxis // Geochim. Cosmochim. Acta. 1970. V. 34. P. 237–243.
- Tarrey, J., Dalziel, I. W. D., and DeWit, M. J. Marginal basin 'Rocas Verdes' complex form S. Chile: A model for Archaean greenstone belt formation. In The Early History of the Earth. Edited by B. F. Windley. Wiley, London, 1976, pp. 131–146.
- Winchester J. A. and Floyd P. A. Geochemical Discrimination of Different Magma Series and Their Differentiation Product Using Immobility Elements. Chemical Geology, 20, 1976, 325–343.

Поступила в редакцию / Received 22.02.2023



Из архива профессора Д. П. Григорьева: к 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского и 140-летию со дня рождения А. Е. Ферсмана

Ю. Л. Войтеховский

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
Российское минералогическое общество, Санкт-Петербург
vojtekhovskij@herzen.spb.ru

В статье публикуются ранее неизвестные материалы к биографиям академиков В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана, найденные автором в архиве профессора Д. П. Григорьева, хранящемся в фондах Российского минералогического общества. Это воспоминания минералога А. Я. Микее, автобиография А. Е. Ферсмана и его характеристика, подписанная академиком В. А. Обручевым. Все документы расшифрованы, атрибутированы и прокомментированы автором. Актуальность статьи состоит в необходимости отстаивания приоритетов отечественной науки и техники. Цель работы – максимально полное освещение профессиональной и творческой деятельности В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана, введение в научный оборот новых документов. Приведенные материалы дают возможность узнать о репрессированном профессоре А. Я. Микее. Упоминание известных ученых и путешественников И. П. Алибера, А. И. Антипова, А. И. Бродского, У. Волластона, В. М. Гольдшмидта, П. Л. Драверта, Л. Л. Иванова, В. И. Крыжановского, С. М. Курбатова, А. Лакруа, П. М. Леонтовского, Г. М. Пермикина, Р. А. Пренделя, К. Розенбуша, Е. С. Федорова и Л. А. Ячевского должно заинтересовать широкий круг читателей. Обращено внимание на важность личных архивов в изучении истории науки. Архив профессора Д. П. Григорьева в письмах и других документах отражает целый пласт до- и послевоенной истории отечественной минералогии. Статья приурочена к 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского и 140-летию А. Е. Ферсмана.

Ключевые слова: В. И. Вернадский, Д. П. Григорьев, А. Я. Микей, В. А. Обручев, А. Е. Ферсман, история минералогии, архивы, музеи.

From Professor D. P. Grigoriev's archive: the 160th anniversary of the birth of V. I. Vernadsky and the 140th anniversary of the birth of A. E. Fersman

Yu. L. Voytekhovsky

A. I. Herzen Russian State Pedagogical University
Russian Mineralogical Society, Saint Petersburg

The article publishes previously unknown materials for the biographies of academicians V. I. Vernadsky and A. E. Fersman, found by the author in Professor D. P. Grigoriev's archive, stored in the Russian Mineralogical Society. These are the memoirs of mineralogist A. Ya. Mikey, the autobiography of A. E. Fersman and his personal file, signed by academician V. A. Obruchev. All documents have been deciphered, annotated and commented on by the author. The relevance of the article is the need to defend the priorities of domestic science and technology. The purpose of the work is the fullest possible coverage of the professional and creative activities of V. I. Vernadsky and A. E. Fersman, the introduction of new documents into scientific circulation. These materials introduce information about the repressed Professor A. Ya. Mikey. The citation of famous scientists and travelers I. P. Aliber, A. I. Antipov, A. I. Brodsky, W. Wollaston, V. M. Goldschmidt, P. L. Dravert, L. L. Ivanov, V. I. Kryzhanovsky, S. M. Kurbatov, A. Lacroix, P. M. Leontovsky, G. M. Permikin, R. A. Prendel, K. Rosenbush, E. S. Fedorov, and L. A. Yachevsky should be interesting for a wide range of readers. Attention is drawn to the importance of personal archives in the study of the history of science. The archive of Professor D. P. Grigoriev in letters and other documents reflects a whole layer of pre- and post-war history of Russian mineralogy. The article is dedicated to the 160th anniversary of the birth of V. I. Vernadsky and the 140th anniversary of the birth of A. E. Fersman.

Keywords: V. I. Vernadsky, D. P. Grigoriev, A. Ya. Mickey, V. A. Obruchev, A. E. Fersman, history of mineralogy, archives, museums.

Введение

Когда гаснут яркие звезды, свет от них еще долго распространяется по Вселенной. В нашей минералогической вселенной такими звездами были, несомненно, В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман, 160-летие и 140-летие со дней рождения которых мы отмечаем в этом году (рис. 1). Казалось бы, их научные и художественные биографии уже написаны, опубликованы и переизданы. И все же в архивах находятся материалы, важные

для историков науки. В этой статье впервые публикуются воспоминания «Владимир Иванович Вернадский» и «Александр Евгеньевич Ферсман» репрессированного минералога профессора Александра Яковлевича Микее (1901–1961), «Краткая автобиография академика А. Е. Ферсмана» и характеристика «О научной деятельности академика А. Е. Ферсмана», данная академиком-секретарем Отделения геолого-географических наук АН СССР В. А. Обручевым. Все это сберег для нас

Для цитирования: Войтеховский Ю. Л. Из архива профессора Д. П. Григорьева: к 160-летию со дня рождения В. И. Вернадского и 140-летию со дня рождения А. Е. Ферсмана // Вестник геонаук. 2023. 4(340). С. 26–33. DOI: 10.19110/geov.2023.4.3

For citation: Voytekhovsky Yu. L. From Professor D. P. Grigoriev's archive: the 160th anniversary of the birth of V. I. Vernadsky and the 140th anniversary of the birth of A. E. Fersman. Vestnik of Geosciences, 2023, 4(340), pp. 26–33, doi: 10.19110/geov.2023.4.3



профессор Д. П. Григорьев, архив которого находится в комиссии по истории Российского минералогического общества.

Правописание в текстах в основном сохранено, исправлены только явные опечатки и расшифрованы сокращения. По возможности проверены упоминаемые даты и события, при необходимости сделаны примечания, для заинтересованных минералогов вставлены ссылки на научные труды.

Тексты «Владимир Иванович Вернадский» (рис. 2) и «Александр Евгеньевич Ферсман» (а также другие, готовящиеся к публикации, рис. 3) были написаны А. Я. Микеем через три месяца после реабилитации 14 марта 1956 г., затем присланы Д. П. Григорьеву для публикации в «Записках ВМО» (такая просьба есть в одном из писем). Тогда это было невозможно из-за «запятнанной» биографии автора.

Владимир Иванович Вернадский

Я имею честь и счастье причислить себя к школе В. И. Вернадского, так как, будучи учеником его «любимого ученика» Леонида Ликарионовича Иванова (после окончания Московского университета в 1902 г. работал у В. И. Вернадского на кафедре минералогии до 1904 г. — Ю. В.), прихожусь как бы «духовным внуком» Владимиру Ивановичу. Талантливый ученый и выдающийся педагог-преподаватель, Леонид Ликарионович сумел привить и нам, его ученикам, свою благоговейную, почти восторженную любовь к В. И. Вернадскому и пламенную преданность его идеям, особенно же взглядам учителя на строение гетерополисиликатов (Микей, 1934). Одновременно он же внушал нам хладнокровное и равнодушное отношение к «федоровщине» — идеям Е. С. Федорова, к которым и сам был достаточно равнодушен.

В этом отношении характерен следующий эпизод, рассказанный однажды мне лично Л. Л. Ивановым. Когда его по конкурсу избрали профессором минералогии Екатеринбургского горного института (тогда

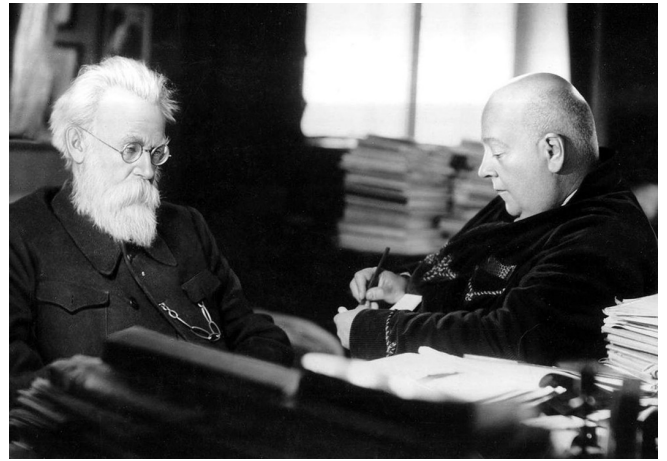


Рис. 1. В. И. Вернадский (1863—1945) и А. Е. Ферсман (1883—1945)

Fig. 1. V. I. Vernadsky (1863—1945) and A. E. Fersman (1883—1945)

еще, в 1908 г., Екатеринбургского высшего горного училища. — Ю. В.), чему, надо полагать, немало способствовал благоприятный отзыв В. И. Вернадского о нем (Вернадский, 1908), вновь избранному профессору предстояло прочесть лекцию на им самим выбранную тему. Молодой ученый выбрал темой «Строение силикатов по В. И. Вернадскому». Когда лекция была им прочитана, с места поднялся член совета института, известный маркшейдер и один из создателей горной геометрии проф. П. М. Леонтовский и заявил: «Все это хорошо, а вот Вы прочтите нам лекцию о кристаллографии Е. С. Федорова». (Припоминаю, что в кабинете маркшейдеров Д[непрпетровского] г[орного] и[нститута] много лет спустя после смерти П. М. Леонтовского еще висел большой чертеж — увеличенная «сетка Федорова».) Нечего было делать, пришлось Л. Л. читать вторую лекцию, на этот раз «на заданную тему».

Характерно, что только одна из дисциплин, читавшаяся Л. Л. Ивановым на гео[логическом] фак[ульте]те Днепрпетр[овского] горного института, имела отношение к идеям Е. С. Федорова. Это был на IV курсе так называемый «Федоровский метод» в микроскопии, которому сам Л. Л. обучился у своего безвременно скончавшегося ассистента Л. В. Брянцева. Этот молодой ученый, много времени и сил потративший на исследования в сибирской тайге, особенно в Забайкалье, оставил после себя большие сборы в виде богатых коллекций. Но все они почти пропали для науки, так как в дополнение к ним не уцелело ни дневников, ни полевых

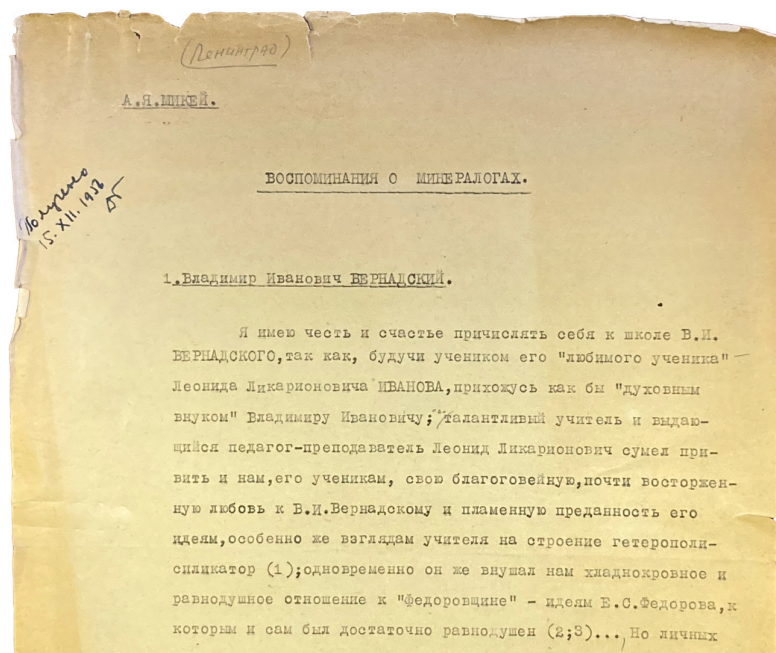


Рис. 2. Начало рукописи А. Я. Микее «Воспоминания о минералогах» с пометкой Д. П. Григорьева: «Получено 15.XII.1956. Д Г»

Fig. 2. The beginning of A. Ya. Mikeya's manuscript «Memoirs about mineralogists» with a note by D. P. Grigoriev: «Received 15.XII.1956. D G»

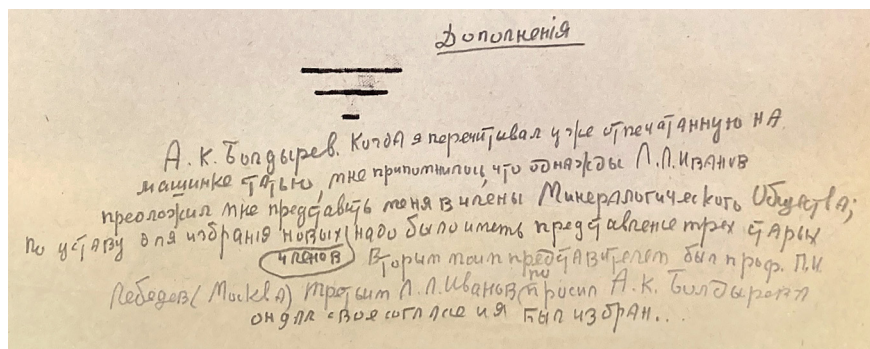


Рис. 3. Рукописные «дополнения» об А. К. Болдыреве (готовятся к печати)

Fig. 3. Handwritten «additions» about A. K. Boldyrev (being prepared for publication)

книжек или чего-либо подобного. Только часть этих коллекций по Алиберовскому руднику (*Ботогольский графитовый рудник в Вост. Саянах* (Андреева, Бессуднова, 2017). — Ю. В.) сумел обработать Л. Л. Иванов. Надо полагать, что как раз знакомство с лежавшими на складе кабинета минералогии коллекциями Л. В. Брянцева, среди коих должны быть и знаменитые забайкальские ортиты, облегчили следующему ассистенту Л. Л. Иванова и моему предшественнику Н. К. Лещенко «случайное» первооткрытие ортита в гранитах Укр[аинского] крист[аллического] массива, сначала в Потемкинском (ныне Шевченковском) парке Днепропетровска, а потом, когда он уже стал охотником за ортитам, на Воляни, в гранитах Бердянского уезда и др.

Но личных встреч с Владимиром Ивановичем у меня долго не было, нас познакомил только заочный обмен работами и письмами. Последние, к сожалению, все пропали вместе со всем моим личным архивом и библиотекой в период оккупации немцами нашего города. Первое, оставшееся у меня в памяти письмо В. И. было ответом на посланную ему мною одну из первых печатных работ о мелитопольской «бурой воде» (Микей, 1927). В ответном письме, подтверждающая получение «бурой воды», В. И. указал на интерес того факта, что в заметке впервые описываются бурые гумусовые артезианские воды, тогда как обычно они известны среди «верховодок» и вообще вод поверхностных, связанных с торфяниками и т. д. В связи с моей фразой: «При выяснении вопроса о причине окраски вод 1-го горизонта на таком большом пространстве прежде всего приходится отказаться от мысли о красящей роли солей железа; произведенные мною пробы вод из скважин села Владимировка и Нечкиного хутора показали его полное отсутствие» — В. И. указал, что железо может быть в органическом комплексе.

Следующей моей статьей, вызвавшей письменный отклик В. И., была статья об эльбрусите (Mickey, 1930). Заметив, что описываемый в статье минерал определенно новый и одобрив данное ему название, В. И. далее писал, что отнести его, быть может, надо к хлоритам. Как известно, это совпало с дальнейшим развитием моих взглядов в качестве первооткрывателя на этот новый силикат. (*Сегодня под именем «эльбрусит» фигурирует сложный урановый оксид со структурой граната, найденный И. О. Галускиной и др. и утвержденный Международной минералогической ассоциацией в 2010 г.; историю дискредитации эльбрусита А. Я. Микей установить не удалось, вероятно, он затерялся в мире глинистых минералов как одно из разновидностей, а название устарело до 1958 г. — года создания ИМА, так что дискредитировать было нечего.* — Ю. В.) Недавно я писал, что «склонен отнести к подгруппе силикатов

ермакит-эльбрусит (*ермакит — разновидность каолинита, устаревший термин — Ю. В.*), не предвещая окончательно вопроса о месте этой подгруппы в общей систематике силикатов вообще и минералов глин в частности; пока рассматриваю ее как промежуточную подгруппу между бейделлитами и железистыми хлоритами» (Микей, 1955).

Настоящая, более или менее регулярная переписка с В. И. протекала в 1936—1937 гг. К этому времени я получил заведывание рядом кафедр в университете (кафедра геохимии) и некоторых других вузах Днепропетровска, а также стал руководителем сектора геохимии НИИ геологии при госуниверситете. Около меня собрался небольшой спаянный коллектив начинающих химиков и минералогов, проводивший под моим руководством довольно многочисленные работы, преимущественно по экспериментальной и технической минералогии: И. А. Бродская, А. Т. Черный, Е. П. Кастнер, А. Т. Видерко и др. Владимира Ивановича заинтересовал наш подход к работе и ее размах. В одном из писем этого периода, говоря об общем упадке и застое работы по минералогии у нас в отечестве, он обронил сочувственное замечание, что, по существу, такая работа проводится только в Днепропетровске.

Программа этих работ была действительно широка: намечались и частично уже велись работы по нонтрониту (химическая природа и строение), глаукониту (строение и технология), по различным методам исследования минералов (дилатометрия — И. А. Бродская, окрашиваемость силикатов различными органическими красителями — она же, люминесцентный анализ — А. Т. Видерко, растворимость кварца в разных кислотах в функции от степени его измельчения и концентрации растворителя — Е. П. Кастнер и др.) и даже по моноксу (низший окисел кремния SiO — его синтез, строение и промышленное использование — И. А. Бродская).

В связи с этим мне вспоминается показательный инцидент, имевший место в мае 1937 г. на Всесоюзном совещании минералогов, созванном АН СССР в Москве. На совещании стояли, между прочим, обзорные доклады о минералогической работе на местах. После моего сообщения о работе нашего коллектива, сопровождавшегося демонстрацией обзорной таблицы наших работ, в прениях выступил ныне покойный профессор МГУ минералог П. П. Пилипенко (ученик В. И. Вернадского, с ассистент и приват-доцент Томского ун-та, с 1917 г. — профессор Саратовского ун-та, с 1926 г. — профессор кафедры минералогии МГУ по рекомендации В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана, с 1930 г. — зав. кафедрой минералогии и кристаллогра-



фии МГРИ. — Ю. В.) и высказал сомнение в правдивости сообщения о наших результатах. Так что пришлось Л. Л. Иванову выступить в качестве свидетеля и подтвердить истинность моих слов. События последующих лет и война привели к тому, что значительная часть результатов не была опубликована и даже не доведена до конца. Так, И. А. Бродской не была закончена начатая по предложению академика А. И. Бродского (*акад. АН УССР с 1939 г., чл.-корр. АН СССР с 1943 г. — Ю. В.*) работа по совместным поискам тяжелой воды в минералах, которую по моему указанию она начала с стассфуртского карналлита (*Стассфурт, или Штассфурт, — месторождение солей в Верхней Саксонии, место первой находки карналлита. — Ю. В.*).

Неуверенно вспоминается, что из моих личных планов Владимира Ивановича особенно привлекла задуманная мною обзорно-сводная статья «Классическая теория строения силикатов в ее современном состоянии», посвященная его теории. Уже была написана первая часть — систематическое изложение основ теории с дополнениями последних лет вроде его гипотезы о хромофорном характере каолинового кольца. Эта часть в силу событий последующих лет (1937 г. и след[ующие]) осталась неопубликованной, рукопись пропала со всем моим личным архивом. Вторая часть должна была содержать критический пересмотр, проверку и переоценку основных предпосылок и тезисов теории в свете основных выводов, положений и опытных данных неорганической и физической химии нашего времени.

В процессе нашей переписки не раз речь заходила о моем к нему личном приезде. И вот в 1936 г. состоялась наконец наша встреча. В связи с нашими исследованиями по технологии глауконитов (Микей, 1935, 1936) села Кочережи я был командирован нашим работодателем Облхимтрестом в Москву и зашел в Академию [наук] к В. И., который сразу пригласил меня к себе домой. В назначенное время я был у него. Мой визит длился недолго, что-то около часа. Из нашей беседы, которая шла самотеком, без заранее подготовленного плана, помню только, что В. И. интересовался (внимание и забота о молодых кадрах) личностью моего ученика и ассистента Я. В. Гречного (ныне переквалифицировавшегося на металлографию, доцента, кандидата технических наук, его первые статьи по мелитопольским горючим газам В. И. по моей просьбе представил к печати в изданиях АН СССР), в частности его национальностью. Тогда же В. И. довольно скептически, что меня поразило, отнесся к геохимической роли сорбции, которой я как раз в те годы увлекался. Перед прощаньем В. И. со словами «это мое Вам завещание» показал мне свою работу «Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги». Как известно, на конференции минералогов в Москве в мае 1937 г. В. И., как и А. Е. Ферсман, отсутствовал. Вскоре после нее, 29 мая 1937 г. я был необоснованно репрессирован и изъят из жизни на 10 лет. За это время «Земные силикаты...» вышли в свет при участии С. М. Курбатова (Вернадский, Курбатов, 1937). А через несколько лет после этого В. И. Вернадский скончался.

Александр Евгеньевич Ферсман

Известнейший из учеников В. И. Вернадского, разделивший с ним заслугу создания «академической»,

как ее называют ленинградские авторы (*Григорьев, Шафрановский, 1949*), школы в русской минералогии, А. Е. Ферсман был в годы моего студенчества властителем душ и кумиром учащейся геологической молодежи, особенно в провинции, с упоением зачитывавшейся такими ныне забытыми, но в начале 1930-х модными и очень популярными его работами, как «Время», «Три года за Полярным кругом», «Новые центры новой науки», «Химия мироздания» и особенно «Самоцветы России. Т. I» (Ферсман, 1920б, 1922, 1923, 1924, 1925б). Выдающийся мастер художественного слова, талантливый и блестящий популяризатор, Александр Евгеньевич в те годы сыграл свою — и очень значительную — роль как фактический воспитатель «грядущей смены», молодого поколения советских минералогов и петрографов, которому его труды привили любовь к красоте камня и уральской природы, увлечение поэзией и романтикой полевой геологической работы (по примеру Пермикина, Алибера и Ячевского) (*Г. М. Пермикин — геолог, золотопромышленник, предприниматель, путешественник, первооткрыватель месторождений лазурита на юге Байкала и нефрита в Вост. Саяне, ему посвящен параграф в главе «За цветными камнями в Сибири» в «Самоцветах России» А. Е. Ферсмана; И. П. (Жан-Пьер) Алибер — французский торговец и горнозаводчик, владелец Ботогольского графитового месторождения в Вост. Саянах; Л. А. Ячевский — геолог, работал в разных районах Сибири по золоту, каменному углю, нефриту, затем профессор минералогии в Екатеринославском высшем горном училище. — Ю. В.*) и беспристрастную оценку роли химии вообще и физ[ической] химии в частности в минералогии и других геологических дисциплинах.

С А. Е. Ферсманом у меня переписки не было. Я много слышал о его работах от его собрата по школе В. И. Вернадского, моего официального учителя и шефа профессора Л. Л. Иванова. Получив от автора 1-й том «Самоцветов России», Л. Л. устроил особое, посвященное «красоте камня» открытое заседание геолого-минералогического кружка нашего института, организатором и несменным председателем которого был он, а секретарем — я. На этом заседании он зачел вслух избранные главы из книги, сопровождая чтение демонстрацией заранее им и мною подобранных образцов из богатых коллекций минералогического музея нашего института. Помню, что особенное впечатление на слушателей (и позднее на читателей книги) произвели главы «Нефрит — священный камень Ию» и «Красные камни в истории культуры» (*это параграф в главе «Красные камни». — Ю. В.*). Нефрит надолго стал нашим любимым поделочным камнем, и каждый из нас стремился раздобыть какое-либо изделие из него для своей коллекции. Собрание кружка имело такой успех, что вскоре было повторено. А книгу «Самоцветы России» с интересом читали даже жены нашей профессуры и наши знакомые дамы, которым мы, восторженные поклонники А. Е., ее настойчиво рекомендовали.

Первая личная встреча с А. Е. Ферсманом была у меня значительно позднее, когда я, уже закончив институт в 1926 г., работал на кафедре минералогии у Л. Л. Иванова вторым ассистентом (первым был Н. К. Лещенко). Эта встреча имела место на I Всесоюзном съезде минералогов, устроенном Академией наук СССР



в Ленинграде на рубеже 1926 и 1927 гг. Сам по себе этот съезд был организован и проведен так необычно, что о нем стоит поговорить отдельно. Душой съезда, при котором была организована замечательная, блестящая по подбору экспонатов и их оформлению выставка, взявшая основной упор на красоту камня, был А. Е. Ферсман. Необычно было и самое открытие съезда, состоявшееся 31 декабря 1926 г. в виде товарищеской встречи 1927 г. в помещении Минералогического музея А[кадемии] н[аук]. Во время ужина-встречи, прошедшей, насколько я помню, в очень теплой и уютной обстановке, поднялся А. Е. и объявил, что среди нас присутствует поэт-минералог, и пригласил его выступить. Под общие аплодисменты встал омский минералог профессор П. Л. Драверт и начал декламировать свои стихи. Вечер открытия съезда закончился танцами.

1 января 1927 г. началась деловая часть съезда — доклады и заседания. Кроме того, провинциальные делегации занимались оформлением на выставке привезенного ими материала. Для размещения и оформления нашего днепропетровского материала Л. Л. Иванов в помощь себе мобилизовал меня, поскольку я, проведя перед этим по его заданию капитальную перестановку и реконструкцию нашего минералогического музея с выделением и организацией в нем особого отдела «Камень в изделии», считался у нас на кафедре как бы специализировавшимся на художественном оформлении минералогического материала.

В один из этих дней Л. Л. при мне подвел к Александру Евгеньевичу Н. К. Лещенко и представил его. «Ааа, пегматитчик», — сказал А. Е., намекая на научные склонности молодого минералога и обнаруживая свое глубокое знание даже провинциальной литературы по специальности. На одном из последних заседаний съезда делегаты с мест делали доклады о состоянии, обстановке и условиях минералогической работы в представляемых ими городах. Резюмируя итоги этих выступлений, А. Е. особо заострил вопрос о необходимости усилить издательскую деятельность у нас в стране, ибо нужда в ней столь велика, что в последнее время мы начали получать даже труды, напечатанные на машинке. Последнее замечание А. Е., надо думать, было вызвано посылавшимися ему «от авторов» оттисками статей, напечатанных в «Бюллетенях» нашего геолого-минералогического кружка литографским путем машинописью.

Второй раз я видел Александра Евгеньевича 10 лет спустя, в 1936 г., будучи в командировке в Москве. Я зашел к Владим[иру] Ильичу Крыжановскому в новое — после переезда (из Ленинграда. — Ю. В.) — московское помещение (в Нескучном [саду]) Минералогического музея АН, которым В. И. заведовал ряд лет вплоть до самой смерти. (С 1907 г. начал работать в минералогическом отделе Геологического музея им. Петра Великого АН в должности учёного хранителя, по его инициативе отдел реорганизован в Минералогический музей АН СССР, в 1932—1947 гг. был его директором. — Ю. В.) Он пригласил меня на заседание научного кружка Минералогического музея, где должен был быть доклад А. Е. Ферсмана, только что прибывшего из заграничной командировки, о его поездке.

На заседании, где мы сидели за отдельными столиками, на которых стояли вазы с угощением, А. Е.

сделал, как всегда, свое интересное и живое сообщение. Помню его рассказ о богатой выставке в Брюсселе экспонатов из Конго и других бельгийских колоний; о модной тогда «линии Мажино», которая была так хорошо замаскирована, что они ее совсем не заметили, и только из случайных слов какого-то спутника по вагону узнали, что они ее проехали; наконец, о Вене, где докладчика поразила популярность реставрационных монархистских симпатий и настроений. После доклада В. И. по моей просьбе подвел меня к А. Е. и представил ему меня, как в 1927 г. Л. Л. Иванов представил ему Н. К. Лещенко. «Ааа, нонтронитчик», — сказал А. Е., намекая на как раз перед тем опубликованный цикл моих статей о нонтронитах. В дальнейшей беседе со мной А. Е. обратил мое внимание на ведущую роль химии и ее изучения в нашем деле. Когда же я ему ответил, что люблю химию и высоко ценю ее значение, он уточнил: «Надо знать физическую химию». Это была вторая и последняя с ним встреча.

28.VI—5.VII 1956 г. Днепропетровск

Причина нахождения «Краткой автобиографии академика А. Е. Ферсмана» и характеристики «О научной деятельности академика А. Е. Ферсмана» В. А. Обручева в архиве Д. П. Григорьева неясна. Если с первым он был связан по линии «Записок ВМО», то со вторым служебной связи не было. Вероятно, он собирал документы, попавшие к нему и косвенным путем, понимая их будущее значение.

Краткая автобиография академика А. Е. Ферсмана

Д. П. Григорьеву (пметка чернилами. — Ю. В.)

Я родился в 1883 году в г. Ленинграде. Окончив классическую гимназию в г. Одессе в 1901 г., я поступил сначала в Новороссийский университет на физико-математическое отделение, где работал у профессора Пренделя, а один год посвятил изучению политической экономии, истории культуры и истории искусства. Позднее перешел в Московский университет на то же отделение и работал в лаборатории академика В. И. Вернадского. В 1907 г. я окончил университет и был при нем оставлен для подготовки научной работы.

С ранних детских лет я заинтересовался минералогией и геологией, чему способствовала профессорская среда, среди которой жила моя семья. С 6-летнего возраста почти каждый год я принимал участие в поездках и путешествиях, во время которых собирал минералы и знакомился с геологией.

За время с 1907 по 1910 г. несколько раз я был командирован для усовершенствования в заграничные научно-исследовательские институты, где преимущественно работал в Гейдельберге (Германия) в лабораториях профессора Гольдшмидта и профессора Розенбуша, занимаясь исследованием алмаза, в Париже у профессора Лакруа, вел исследования в Италии на о. Эльба, знакомился с многочисленными месторождениями минералов в Швейцарии, Германии, Франции, Италии и др. местах.

Вернувшись в Москву, я приступил к организации Народного университета им. Шанявского, где был



в 1910 г. избран первым профессором минералогии. В 1912 г. я был избран профессором Бестужевских курсов в Ленинграде, куда одновременно был переведен из Московского университета на должность старшего ученого хранителя в Минералогический музей Академии наук.

В эти годы я начал первые экспедиции на Урал, где изучал драгоценные камни и связанные с ними пегматиты. Этот же интерес к пегматитам привел меня к многочисленным и детальным поездкам по нашему Союзу, а также заграничным пегматитовым месторождениям, главным образом в Швеции. С начала империалистической войны 1914 г. моя работа переключена была на изучение полезных ископаемых, с чем были связаны мои поездки на Алтай, в Сев. Монголию, Забайкалье и мн. др.

В 1919 г. избран в действительные члены Академии наук и на должность директора Минералогического музея Академии наук. С этого времени и до настоящего момента я занимал и частью занимаю и теперь многочисленные административные посты, а именно: члена президиума Академии наук, вице-президента, секретаря отделения математических и естественных наук (ОМЭН), председателя Совета по изучению производительных сил Союза, председателя экспедиционных исследований, директора типографии, руководителя издательским делом, директора Радиевого института, директора Уральского филиала АН, директора Кольской базы, директора Ломоносовского института, директора Ильменского минералогического заповедника и мн. др. должности по Академии наук.

Из внеакадемических должностей отмечу: организатор Института археологической технологии, где состоял руководителем много лет, был инициатором и директором Института аэрофотосъемки, геодезии и картографии, председатель бюро НИСа наркомата тяжелой промышленности и мн. др.

На протяжении всего этого времени я выполнял и выполняю много общественной работы в различных учреждениях, а именно: был членом ЦИК Туркменской ССР, членом ЦИК Кара-Калпакской АССР, членом Челябинского облисполкома, Миасского райсовета, членом Хибинского горсовета, делегатом на всесоюзные, всероссийские, областные и районные съезды, организатором и руководителем краеведческих обществ и т. д. Был одним из организаторов Дома ученых в Союзе и заместителем Максима Горького по организации и ведению Дома ученых в Ленинграде.

За последние 25 лет руководил многочисленными научными экспедициями и сам принимал участие в экспедициях на Кольском п-ове, в Карелии, на Урале, в Крыму, на Кавказе, в Кара-Кумской пустыне, на о. Челекен (в 1930-х стал полуостровом из-за понижения уровня Каспийского моря. — Ю. В.), Таджикистане, Узбекистане, Прибайкалье, Забайкалье и т. д.

Особое внимание было обращено на экспедицию в Кара-Кумы, в результате которой был построен серный завод, первый в СССР, а также в Хибины на Кольском п-ове, результатом которой явилось создание нового заполярного центра промышленности в г. Кировске и в г. Мончегорске (апатит, никель). Кара-Кумские и хибинские экспедиции явились основной моей полевой научной деятельностью за эти годы. Основное направ-

ление моей научной работы может быть сведено к следующим пунктам:

- начиная с 1907 г. я заинтересовался пегматитами, но лишь через 25 лет смог опубликовать свои выводы по изучению этих важных образований земной коры;
- с проблемой пегматитов было тесно связано изучение драгоценных камней, которым было посвящено несколько моих монографий;
- вопросы происхождения пегматитов привели меня к изучению вопросов генезиса минералов, а те, в свою очередь, — к проблемам геохимии, изучению которой были посвящены последние 20 лет;
- изучение геохимии заставило меня перейти к вопросам приложения общих физико-химических теорий к геохимическим процессам и к энергетическому анализу природных процессов;
- указанные исследования геохимического характера непосредственно вытекали и, в свою очередь, проникали в область изучения полезных ископаемых;
- последние мои работы посвящены именно этому вопросу — нахождению законов распределения химических элементов и полезных ископаемых в земной коре и методике их поисков для промышленности нашего Союза.

Число публикаций выражается в числе около 650. Награды:

- золотая медаль им. А. И. Антипова за лучшую исследовательскую работу молодых ученых в 1913 г. от Всероссийского минералогического общества. (*Медаль им. А. И. Антипова от Императорского Санкт-Петербургского минералогического общества А. Е. Ферсман получил за работы по минералогии п-ова Крым, о. Эльба и цеолитам России в 1909 г. — Ю. В.*);
- премия им. Ленина (10 000 р.) в 1928 г. за работу по химизации Союза. Выдана Комиссией по химизации Совнаркома СССР;
- большая медаль, выданная Бельгийским университетом в 1936 г. за работы по геохимии;
- премия им. Сталина I степени в 1942 г. (200 000 р.) за труд «Полезные ископаемые Кольского п-ова»;
- медаль им. У. Волластона, присуждена в 1943 г. Лондонским геологическим обществом — высочайшая геологическая почест в мире.

О научной деятельности академика А. Е. Ферсмана

Академик А. Е. Ферсман — крупнейший представитель передовой науки, глава советской школы минералогов и геохимиков, проделавший огромную работу по развитию этих областей знания, по расширению минерально-сырьевой базы СССР и по развитию новых отраслей отечественной химической промышленности.

Научные работы А. Е. Ферсмана входят в число лучших произведений специальной научной литературы. Им опубликовано свыше 700 трудов, в том числе ряд многотомных сочинений. А. Е. Ферсману принадлежит место одного из основателей новой науки — геохимии, внесшей новые методы в поиски и изучение месторождений полезных ископаемых. Основы этой науки изложены им в четырехтомном труде «Геохимия» (Ферсман, 1933—1939). Труд А. Е. Ферсмана



«Драгоценные и цветные камни СССР» (Ферсман, 1920а, 1925а) впервые полно осветил богатство нашей страны этими минералами. Его монография «Пегматиты» (Ферсман, 1931) выдержала 3 издания и служит руководящим пособием для всех исследователей пегматитовых жил и связанных с ними полезных ископаемых. Труд А. Е. Ферсмана «Полезные ископаемые Кольского п-ова» (Ферсман, 1941) в 1941 г. был отмечен Сталинской премией. (Это было в 1942 г. — Ю. В.) С глубоким научным изучением минералов и руд А. Е. Ферсман сочетает редкий талант популяризатора. Своими многочисленными научно-популярными книгами и статьями А. Е. Ферсман много способствовал возбуждению и росту интереса советской молодежи к изучению полезных ископаемых.

Почти каждый труд А. Е. Ферсмана является примером, показывающим значение научных исследований для народного хозяйства страны. При ближайшем участии А. Е. Ферсмана была поставлена на должную высоту добыча изумрудов и бериллов на Урале; организована радиевая промышленность на базе тую-мунских руд и ухтинских нефтеносных вод, начата добыча серы в Кара-Кумах, поставлено изучение сурьмяно-ртутных и ванадиевых месторождений Ср[едней] Азии, вольфрамовых, оловянных и молибденовых руд Забайкалья и Дальнего Востока.

А. Е. Ферсман провел большую работу по созданию сырьевой базы для северной горной промышленности на основе хибинских апатитов и нефелинов, редкоземельных руд и ниобовых месторождений Ловозерских тундр и никелевых месторождений Мончегундры.

Особо следует отметить энергичную деятельность А. Е. Ферсмана как организатора работ по обслуживанию фронта и оборонной промышленности. С самого начала Отечественной войны А. Е. Ферсманом была создана комиссия по геолого-географическому обслуживанию Красной армии, оказавшая существенную помощь инженерному комитету К[расной] а[рмии], ГУ ВВС (Главное управление военно-воздушных сил. — Ю. В.), ГАУ (Главное артиллерийское управление. — Ю. В.), Ген[еральному] штабу. Деятельность А. Е. Ферсмана в этом направлении началась еще в период войны 1914—1918 гг., когда он был одним из инициаторов создания и активным участником Военно-химического и Военно-промышленного комитетов (созданы в 1915 г. — Ю. В.) и КЕПСа АН СССР по изучению стратегического сырья (Комиссия по изучению естественных производительных сил России при Императорской Санкт-Петербургской академии наук создана по инициативе и под председательством В. И. Вернадского, секретарем на первом заседании 11 октября 1915 г. избран А. Е. Ферсман. — Ю. В.). Все эти работы целеустремленно направлены на усиление оборонной мощи нашей Родины.

Научные и научно-общественные организации СССР и за границы высоко ценят талантливую деятельность А. Е. Ферсмана. За свои работы он награжден золотой медалью и почетным отзывом Всероссийского минералогического о[бществ]а (о золотой медали им. А. И. Антипова см. выше, в 1924 г. вместо нее учрежден «Почётный отзыв им. А. И. Антипова» без премии, но с прежним статусом; в 1925 г. им награждены участники Хибинской экспедиции А. Е. Ферсман, Э. М. Бонштедт, Н. Н. Гуткова, Е. Е. Костылева, В. И. Крыжановский,

Б. М. Куплетский, А. Н. Лабунцов, Г. П. Черник. — Ю. В.), большой медалью Бельгийского университета, Лондонским геологическим о[бществ]ом награжден высшей научной наградой в области геологии — медалью им. У. Волластона. В 1928 г. Комиссией по химизации СНК СССР А. Е. Ферсману присуждена премия им. Ленина. В 1942 г. А. Е. Ферсман удостоен премии им. Сталина 1-й степени.

А. Е. Ферсман является выдающимся ученым нашей страны, отдающим все свои силы и знания делу развития советской науки и мобилизующим на службу Родине широкие круги ученых нашей страны.

Академик-секретарь отделения ГТН АН СССР
академик В. А. Обручев

Обсуждение и выводы

Воспоминания известного в свое время минералога А. Я. Микеев дополняют деталями жизнеописания В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана и вводят в обиход биографию его самого, недостаточно освещенную в научно-популярной и исторической литературе. Открытие эльбрусита с публикацией статьи в международном журнале и последующее тихое исчезновение минерала из кадастров — тема, требующая изучения и, во всяком случае, привязывающая А. Я. Микеев к живому телу минералогии.

Автобиография и характеристика А. Е. Ферсмана не датированы. Но в них есть ссылки на медаль им. У. Волластона, присужденную А. Е. Ферсману к 60-летию 8 ноября 1943 г. Одновременно «за выдающиеся заслуги в области развития геологических наук, в связи с 60-летием со дня рождения и 40-летием научной деятельности» советское правительство наградило его орденом Трудового Красного Знамени, который почему-то не указан в автобиографии. Умер А. Е. Ферсман в г. Сочи 20 мая 1945 г. В. А. Обручев был академиком-секретарем Отделения геолого-географических наук АН СССР с 1942 по 1946 гг., А. Е. Ферсман был его заместителем. Из сопоставления дат следует, что время написания обоих документов — с ноября 1943 по май 1945 г.

Но каков повод? Автобиографии и характеристики пишутся в положительном ключе при переводе на новую должность и представлении к награде. Ничего такого в этот период в биографии А. Е. Ферсмана не было. Предположим, что В. А. Обручев прочил его на пост академика-секретаря ОГТН АН СССР. Обратим внимание и на то, что автобиография задумана А. Е. Ферсманом как краткая — для тех, кто его знал без длинных перечней геологических экспедиций, опубликованных научных трудов и оглашенных докладов, то есть для коллег по ОГТН, что подкрепляет нашу догадку.

Личные архивы — важные собрания свидетельств о прошедших событиях и ушедших людях. Архив профессора Д. П. Григорьева, содержащий письма и другие документы, разносторонне отражает довоенную и послевоенную историю отечественной минералогии. Он их сохранил, наше дело — сделать их общим достоянием.

Автор благодарит рецензентов за полезные замечания и уточнения.



Литература / References

- Андреева И. П., Бессуднова З. А. Сибирский графит Алибера // Природа. 2017. № 11. С. 73–81.
Andreeva I. P., Bessudnova Z. A. *Sibirskiy grafit Alibera* (Siberian graphite of Aliber). *Priroda*, 2017, No. 11, pp. 73–81.
- Вернадский В. И. Отзыв о кандидатах на замещение кафедры минералогии в Екатеринбургском высшем горном училище // Изв. Екатеринбургского горного училища. 1908. Вып. 1. С. 4–5.
Vernadsky V. I. *Otzyv o kandidatakh na zamesheniye kafedry mineralogii v Ekaterinoslavskom vysshem uchilische* (Review of candidates for the replacement of the department of mineralogy in the Ekaterinoslav higher mining college). *Izvestiya of Ekaterinoslav mining school*, 1908, Is. 1, pp. 4–5.
- Вернадский В. И., Курбатов С. М. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги. Л.-М.: Госгеолиздат, 1937. 378 с.
Vernadsky V. I., Kurbatov S. M. *Zemnye silikaty, aluminosilikaty i ikh analogi* (Terrestrial silicates, aluminosilicates and their analogues). Moscow: Gosgeolizdat, 1937, 378 p.
- Григорьев Д. П., Шафрановский И. И. Выдающиеся русские минералоги. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1949. 275 с.
Grigoriev D. P., Shafranovsky I. I. *Vydayuschiesya russkiye mineralogi* (Outstanding Russian mineralogists). Moscow–Leningrad: Rus. Acad. Sci., 1949, 275 p.
- Микей А. Я. О горизонте бурой воды из артезианских скважин Мелитопольского округа // Наук. зап. Дніпр. наук.–дослід. каф. геол. 1927. Вип. 1. С. 10–23.
Mickey A. Ya. *O gorizonte buroy vody iz artezianskikh skvazhin Merlitopolskogo okruga* (On the horizon of brown water from artesian wells of the Melitopol district). *Nauchnye zapiski Dnepropetrovskoy nauchno–issledovatel'skoy kafedry geologii*, 1927, Is. 1, pp. 10–23.
- Микей А. Я. Схема рациональной классификации силикатов // Укр. хим. журнал. 1934. № 3–4. С. 472–474.
Mickey A. Ya. *Skhema ratsionalnoy klassifikatsii silikatov* (Scheme of rational classification of silicates). *Ukrainian chem. J.*, 1934, No. 3–4, pp. 472–474.
- Микей А. Я. Про некоторые физические и физико-химические свойства глауконитов околиц Днепропетровска // Укр. хим. журнал. 1935. № 2. С. 12–23.
Mickey A. Ya. *Pro nekotorye fizicheskiye i fiziko-khimicheskiye svoystva glaukonitov okolits Dnepropetrovska* (On some physical and physico-chemical features of glauconites of the outskirts of Dnepropetrovsk). *Ukrainian chem. J.*, 1935, No. 2, pp. 12–23.
- Микей А. Я. К вопросу о химической природе и строении глауконита // К 50-летию акад. В. И. Вернадского. Харьков, 1936. Т. 2. С. 85–94.
Mickey A. Ya. *K voprosu o khimicheskoy prirode i stroenii glaukonita* (On the question of the chemical nature and structure of glauconite). *Marking the 50th anniversary of Academician V. I. Vernadsky*. V. 2, Kharkov, 1936, pp. 85–94.
- Микей А. Я. Некоторые соображения о генезисе месторождений монотермитовых огнеупорных глин Часов-Ярского типа и природе монотермита // Вопр. минералогии осадочных образований. Львов, 1955. С. 194–203.
Mickey A. Ya. *Nekotorye soobrazheniya o genezise mestorozhdeniy monotermitovykh ognepurnykh glin Chasov-Yarskogo tipa i prirode monotermita* (Some considerations on the genesis of deposits of monotermit refractory clays of the Chasov–Yarsky type and the nature of monotermit). *Questions of mineralogy of sedimentary formations*. Lvov, 1955, pp. 194–203.
- Ферсман А. Е. Драгоценные и цветные камни России. Описание драгоценных и цветных камней России. Петроград: Гос. типография, 1920а. Т. 1. 424 с.
Fersman A. E. *Dragotsennyye i tsvetnyye kamni Rossii*. *Tom 1. Opisanie dragotsennykh i tsvetnykh kamney Rossii* (Precious and colored stones of Russia). Vol. 1. Description of precious and colored stones of Russia). Petrograd: State printing house, 1920a, 424 p.
- Ферсман А. Е. Самоцветы России. Петроград: Гос. типография, 1920б. Т. 1. 220 с.
Fersman A. E. *Samotsvety Rossii. Tom 1* (Colored stones of Russia. Vol. 1). Petrograd: State printing house, 1920b, 220 p.
- Ферсман А. Е. Время. Петроград: Время, 1922. 72 с.
Fersman A. E. *Vremya* (Time). Petrograd: Vremya Press, 1922, 72 p.
- Ферсман А. Е. Химия мироздания. Петроград: Время, 1923. 68 с.
Fersman A. E. *Khimiya mirozdaniya* (Chemistry of the universe). Petrograd: Vremya Press, 1923, 68 p.
- Ферсман А. Е. Три года за Полярным кругом. Москва – Петроград: Молодая гвардия, 1924. 80 с.
Fersman A. E. *Tri goda za Polyarnym krugom* (Three years behind the Arctic Circle). Moscow–Petrograd: Molodaya gvardiya, 1924, 80 p.
- Ферсман А. Е. Драгоценные и цветные камни СССР. Т. 2. Месторождения. Л.: Изд-во Рос. акад. наук, 1925а. 385 с.
Fersman A. E. *Dragotsennyye i tsvetnyye kamni SSSR. Tom 2. Mestorozhdeniya* (Precious and colored stones of USSR. Vol. 2. Deposits). Leningrad: Rus. Acad. Sci., 1925a, 385 p.
- Ферсман А. Е. Новые центры новой науки. Л.: Время, 1925б. 46 с.
Fersman A. E. *Novyye tsentry novoy nauki* (New centers of new science). Leningrad: Vremya Press, 1925b, 46 p.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, их научное и практическое значение. Т. 1. Гранитные пегматиты. Л.: Изд-во АН СССР, 1931. 646 с.
Fersman A. E. *Pegmatity, ikh nauchnoye i prakticheskoye znacheniye. Tom 1. Granitnyye pegmatity* (Pegmatites, their scientific and practical significance. Vol. 1. Granite pegmatites). Leningrad: Rus. Acad. Sci., 1931, 646 p.
- Ферсман А. Е. Геохимия. Л.: Госхимтехиздат, 1933–1939. Т. 1: 1933, 328 с.; т. 2: 1934, 354 с.; т. 3: 1937, 503 с.; т. 4: 1939, 355 с.
Fersman A. E. *Geokhimiya* (Geochemistry). Leningrad: Goskhimtechizdat, 1933–1939, V. 1: 1933, 328 p.; V. 2: 1934, 354 p.; V. 3: 1937, 503 p.; V. 4: 1939, 355 p.
- Ферсман А. Е. Полезные ископаемые Кольского п-ова. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 346 с.
Fersman A. E. *Poleznye iskopaemye Kolskogo poluostrova* (Mineral deposits of the Kola Peninsula). Moscow–Leningrad: Rus. Acad. Sci., 1941, 346 p.
- Mickey I. J. Über eine neue Mineralart aus der Gruppe Nontronit – Beidellit. (A new mineral variety belonging to the nontronite – beidellite group) // *Centralblatt für Miner., Geol. und Paläont.* 1930. Abt. A, No. 7. S. 293–303. (Инициал I — от имени Isaak, употреблявшегося А. Я. Микеем, J — от немецкого Jakob. — Ю. В.)

Поступила в редакцию / Received 31.03.2023



Научное наследие А. К. Карабанова в области наук о Земле

Е. А. Кухарик^{1, 2}, В. С. Хомич¹, Я. Г. Грибик¹, М. А. Богдасаров^{3, 4}, О. В. Мартиросян⁵

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, *shzhk@mail.ru*

³Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, Брест, Беларусь

⁴Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, *bogdasarov73@mail.ru*

⁵Геологический институт РАН, Москва, *mov@ginras.ru*

В 2022 году исполнилось 70 лет со дня рождения А. К. Карабанова – крупного белорусского ученого-геолога и организатора науки, специалиста в области четвертичной геологии и палеогеографии, геоморфологии, новейшей тектоники и неогеодинамики, доктора геолого-минералогических наук, профессора, академика НАН Беларуси, директора Института природопользования НАН Беларуси (2008–2019). Им разработана оригинальная комплексная методика реконструкции амплитуд неотектонических движений в области древнего материкового оледенения, сформулирована концепция неотектонической эволюции и новейшей геодинамики территории запада Восточно-Европейской платформы, предложены методические приемы составления неотектонических карт на основе картографирования структурно-формационных комплексов платформенного чехла, имеющие важное теоретическое и практическое значение. В настоящей работе дается обзор основных научных достижений академика А. К. Карабанова.

Ключевые слова: А. К. Карабанов, четвертичная геология, палеогеография, неотектоника, неогеодинамика.

The scientific heritage of Alexander K. Karabanov in the field of Earth sciences

E. A. Kukharik^{1,2}, V. S. Khomich¹, Y. G. Gribik¹, M. A. Bahdasarau^{3,4}, O. V. Martirosyan⁵

¹Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus

²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

³A. S. Pushkin Brest State University, Brest, Belarus

⁴Brest State Technical University, Brest, Belarus

⁵Geological Institute of RAS, Moscow

2022 marks the 70th anniversary of the birth of A. K. Karabanov. He was a prominent Belarusian geologist and science organizer, a specialist in the field of the Quaternary geology and paleogeography, geomorphology, neotectonics and neogeodynamics, Doctor of geological and mineralogical sciences, Professor, Academician of the NAS of Belarus, Director of the Institute for Nature Management of the NAS of Belarus (2008–2019). He developed an original complex methodology for reconstructing amplitudes of neotectonic movements in the area of ancient continental glaciation. A. K. Karabanov formulated the concept of neotectonic evolution and the neogeodynamics of the western part of the East European Platform territory. He proposed methodology for making neotectonic maps. It is based on mapping of structural-formational complexes of the sedimentary cover, which have important theoretical and practical value. A review of main scientific achievements of Academician A. K. Karabanov is presented in this paper.

Keywords: A. K. Karabanov, Quaternary geology, paleogeography, neotectonics, neogeodynamics.

Введение

Александр Кириллович Карабанов был ярким представителем плеяды ученых-геологов, оставивших заметный след в развитии белорусской геологической науки. Становление личности ученого происходило в структурах Академии наук БССР в 1970–80-е годы, которые, по меткому выражению академика А. А. Махнача, относятся к «золотому полувеку белорусской геологии». Сочетание трудолюбия и таланта позволило А. К. Карабанову уже ко второй половине 2000-х годов занять достойное место в авангарде белорусской геологии, возглавить Институт природопользования НАН Беларуси и стать признанным лидером ряда маги-

стральных направлений геологических исследований в стране. Авторы настоящей статьи хотят познакомить читателей с этим замечательным человеком, крупным исследователем недр и организатором науки в Беларуси.

Из научной биографии

Александр Кириллович Карабанов (25.10.1952 – 03.08.2019) родился в г. Минске. В 1969 г. окончил специализированную среднюю школу № 24 г. Минска, где на высоком уровне овладел немецким языком и приобрел знания основ естественно-научных дисциплин. В том же году поступил на географический факультет

Для цитирования: Кухарик Е. А., Хомич В. С., Грибик Я. Г., Богдасаров М. А., Мартиросян О. В. Научное наследие А. К. Карабанова в области наук о Земле // Вестник геонаук. 2023. 4(340). С. 34–41. DOI: 10.19110/geov.2023.4.4

For citation: Kukharik E. A., Khomich V. S., Gribik Y. G., Bahdasarau M. A., Martirosyan O. V. The scientific heritage of Alexander K. Karabanov in the field of Earth sciences. Vestnik of Geosciences, 2023, 4(340), pp. 34–41, doi: 10.19110/geov.2023.4.4



Белорусского государственного университета. В студенческие годы принимал участие в экспедициях по изучению озер Белорусского Полесья, организуемых профессором О. Ф. Якушко, а также в сезонных полевых геологических работах под руководством академика АН БССР Г. И. Горещкого. С отличием окончил университет в 1974 г. и в этом же году был зачислен в очную аспирантуру Института геохимии и геофизики АН БССР, которую окончил в 1977 г., а в 1983 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук. В 1991 г. А. К. Карабанову было присвоено ученое звание старшего научного сотрудника, а в 1992 г. он возглавил лабораторию геологии и геодинамики Института геологических наук НАН Беларуси (рис. 1).



Рис. 1. Заведующий лабораторией А. К. Карабанов (второй справа) с коллегами (слева направо: к. г.-м. н. И. Э. Павловская, к. г.-м. н. Т. В. Якубовская, к. г.-м. н. Л. И. Мурашко, В. Ф. Наливайко, член-корреспондент Р. Е. Айзберг). Институт геологических наук НАН Беларуси, 1990-е гг. Из архива Института природопользования НАН Беларуси

Fig. 1. Head of the laboratory A. K. Karabanov (second from right) with colleagues (from left to right: Cand. Sc. I. E. Pavlovskaya, Cand. Sc. T. V. Yakubovskaya, Cand. Sc. L. I. Murashko, V. F. Nalivaiko, Corresponding Member R. E. Aizberg). Institute of Geological Sciences of the NAS of Belarus, 1990s. From the archive of the Institute of Nature Management of the NAS of Belarus

В последующие годы Александр Кириллович, не забывая о проблемах геологии и палеогеографии квартала, занимался изучением неотектоники и неогеодинмики территории Беларуси и смежных регионов Восточно-Европейской платформы в тесном сотрудничестве с академиками Р. Г. Гарещким и А. В. Матвеевым, членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом и профессором Э. А. Левковым. Результатом выполненных исследований явилась защита в 2002 г. диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, которая получила высокую оценку не только белорусских геологов, а также коллег из России, Украины, Польши и стран Балтии. В 2004 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 2014 г. — академиком НАН Беларуси; в 2011 г. ему присвоено ученое звание профессора по специальности «геология». С 2008 по 2019 г. Александр Кириллович возглавлял Институт природопользования НАН Беларуси и созданную в его структуре лабораторию геодинамики и палеогеогра-

фии. В этот период он активно занимался научной работой, был вовлечен в организационную деятельность и педагогический процесс, руководил аспирантами, принимал участие в научных мероприятиях, симпозиумах, семинарах и конференциях различного уровня (рис. 2).



Рис. 2. А. К. Карабанов принимает участие в работе Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной геологии, геохимии и географии» в Брестском государственном университете имени А. С. Пушкина (Брест, Беларусь), 2011 г. Из архива М. А. Богдасарова

Fig. 2. A. K. Karabanov takes part in the International scientific-practical conference «Actual problems of modern geology, geochemistry and geography» in the A. S. Pushkin Brest State University (Brest, Belarus), 2011. From the archive of M. A. Bahdasarau

Несмотря на большую занятость на протяжении последних лет жизни, Александр Кириллович никогда не упускал возможности заниматься наукой, что позволило ему получить фундаментальные результаты по ряду научных направлений, на которых мы остановимся подробнее.

Четвертичная геология, стратиграфия и палеогеография, геоморфология

Научные интересы А. К. Карабанова на начальном этапе карьеры и первые значимые результаты исследований были связаны с такими областями знаний, как четвертичная геология, стратиграфия и палеогеография квартала и геоморфология. Со студенческих лет он принимал участие в геологических экспедициях, что укрепило его интерес к научным исследованиям, стремление к всестороннему и объективному изучению интересующих его научных проблем (рис. 3). Так, обучаясь в аспирантуре под руководством профессора Э. А. Левкова, Александр Кириллович занялся исследованием особенностей строения коренных пород и перекрывающей их толщи антропогенных отложений, рельефа современной земной поверхности и палеогеографических условий формирования Гродненской возвышенности.

Комплексный подход при реализации исследований позволил Александру Кирилловичу сделать ряд важных выводов, а именно: установить, что Гродненская возвышенность является эталоном крупных ледораз-



Рис. 3. Участники полевой экскурсии во время проведения в Беларуси VIII Всесоюзного совещания «Краевые образования материковых оледенений», 1990 г. А. К. Карабанов — 1-й слева во 2-м ряду. Справа от него — профессор Э. А. Левков. Из архива Института природопользования НАН Беларуси

Fig. 3. Participants of a field excursion during the 8th All-Union Conference «Marginal formations of continental glaciations» in Belarus, 1990s. A. K. Karabanov — the first from the left in the second row. To his right is Professor E. A. Levkov. From the archive of the Institute of Nature Management of the NAS of Belarus

дельных форм рельефа, появление и локализация которых предопределены особенностями геологического строения субстрата и динамикой древнематериковых ледников; выделить стадии эволюции возвышенности — цокольную, островную, маргинальную; доказать, что разновозрастные ледниковые покровы унаследованно увеличивали площадь и абсолютные отметки возвышенности за счет надстройки гляцигенных комплексов вокруг первичного цоколя, испытывавшего на новейшем этапе дифференцированное поднятие. Анализ особенностей строения и возраста рельефа изученной возвышенности позволил выделить в ее пределах зоны средне- и позднеантропогенного ледникового рельефа, подразделяющиеся на ряд генетически однородных гляциоморфологических комплексов; показать важную роль гляциотектоники в формировании структуры четвертичной толщи и рельефа ледораздельных возвышенностей и необходимость учета гляциотектонических явлений при постановке стратиграфических, палеогеографических и геоморфологических исследований. По материалам кандидатской диссертации была опубликована монография «Гродненская возвышенность: строение, рельеф, этапы формирования» (Карабанов, 1987).

В дальнейшем научное сотрудничество А. К. Карабанова и Э. А. Левкова продолжилось, результатом чего явилась серия публикаций по наиболее актуальным вопросам ледникового морфолитогенеза. Так, при изучении Гродненско-Новогрудского пояса краевых ледниковых образований было обосновано применение метода угловых несогласий для выделения и обоснования рубежей фаз и стадий, а в отдельных случаях — определения предельных границ продвижения разновозрастных ледниковых покровов, выявления динамики льда в краевой зоне, степени его активности (Карабанов, Левков, 1986). Комплексные исследования в Белорусском Поозерье — области развития последнего (поозерско-

го) оледенения — позволили установить особенности строения и развития озерных котловин. Значительная их часть в современном рельефе представлена в виде ложбин ледникового выдавливания, характеризующихся значительной вытянутостью и глубиной, группировкой в дугообразные цепи, ориентировкой параллельно фронту сформировавших их ледниковых языков (Карабанов, Левков, 1988). Показано, что многие озерные котловины полностью или частично окружены инъективными озоподобными грядами (озами выдавливания), имеющими в плане прямолинейные или (реже) извилистые очертания, сформированными на стадии омертвления периферической части ледникового покрова в полосе шириной до нескольких десятков километров. Механизм их возникновения объясняется выдавливанием материала, строящего гряды, под воздействием веса блоков мертвого льда, «пломбировавшего» котловины современных озер и другие понижения (Карабанов, Левков, 1990, 1992). Описаны широко распространенные в Белорусском Поозерье холмы, морфологически сходные с камами, но имеющие иное внутреннее строение и генезис, — камоиды. Они являются частью краевых ледниковых образований и подразделяются на два основных типа — скибовый (складчаточешуйчатый) и диапировый (Карабанов, Левков, 1993).

Большое внимание А. К. Карабанов уделял изучению криогенных явлений и их роли в формировании четвертичных отложений и рельефа (рис. 4).

Совместно с Э. А. Левковым и В. Н. Губиным был охарактеризован криогенный микрорельеф (Левков и др., 1988а). В долине р. Эсса он представлен 4–6-угольными полигонами размером от 30–40 до 150–200 м, а в окрестностях д. Звонь (Ушачский район, Витебская область) были обнаружены и описаны морозобойные клинья в поозерских флювиогляциальных отложениях фронтальной части Ушачского ледникового комплекса. Был описан реликтовый пинго (булгуньях), обнаруженный западнее д. Латыгово (Бешенковичский район, Витебская область), представленный в современном рельефе кольцевой формой (Боровнянская кольцевая структура), центральная часть которой занята заболоченным пониже-



Рис. 4. А. К. Карабанов за изучением гляциодислокаций в меловом карьере, 1990-е гг. Из архива Института природопользования НАН Беларуси

Fig. 4. A. K. Karabanov is studying glacioidislocations in a chalk quarry, 1990s. From the archive of the Institute of Nature Management of the NAS of Belarus



нием и котловиной оз. Боровно (Левков, Карабанов, 1990). Анализ особенностей формирования гидросети и рельефа долин малых рек в зоне последнего (поозерского) оледенения позволил сделать вывод о том, что в их динамике начиная с аллерёда заметную роль играли термокарстовые процессы, обусловленные таянием погребенного льда и многолетнемерзлых грунтов, приведшие к появлению просадочных форм (Левков и др., 1988b). По мнению авторов работы, этот процесс завершился в пребореале.

В работе (Гурский и др., 1990) показано, что при определении пределов распространения ледниковых покровов и в палеогеографических реконструкциях в комплекс используемых методов необходимо включать петрографический анализ грубообломочных фракций морен, которые обнаруживаются в понижениях, унаследованных современными речными долинами. Так, отдельные участки долин рр. Сож, Березина, Днепр, Птичь, Неман и др. имеют спрямленную конфигурацию, и по ним ледниковые языки спускались на несколько десятков километров южнее основной полосы конечных морен. Результаты выполненной оценки величины экзарационного среза пород кристаллического фундамента в центре Скандинавского оледенения показали, что его величина составила 21.2 м. Были выделены зоны слабой, умеренной (около 15–25 м) и значительной (35–45 м) экзарации и показано, что на территории Беларуси содержание обломков кристаллических пород Балтийского щита в ледниковых отложениях уменьшается в южном направлении от 20 до 2 % (Левков, Карабанов, 1994а).

Большой интерес у А. К. Карабанова вызывало изучение валунов как природных объектов и предметов сакральной сферы, связанных с традиционными верованиями белорусского народа. Важно отметить, что это направление исследований, лежащее на стыке естественных и гуманитарных наук, развивалось его учителем Э. А. Левковым, который в 1993 г. опубликовал одну из первых популярных книг по этой теме — «Маўклівыя сведкі мінуўшчыны» (Ляўкоў, 1992). В дальнейшем его исследования успешно продолжил Александр Кириллович. Первым важным результатом работ по «валунной» тематике можно считать выход в свет в 2011 г. коллективной монографии «Культавыя і гістарычныя валуны Беларусі» (Карабанаў і др., 2011), в которой приведены описания более 360 валунов, обнаруженных на территории Беларуси, с которыми связаны различные легенды, предания и исторические сведения. Некоторые материалы по белорусским культовым валунам были использованы при подготовке коллективной монографии «Культовые камни Восточной Европы: Беларусь, Латвия, Литва, Россия» (Мизин и др., 2018). Свообразными культовыми образованиями на территории Беларуси также считаются некоторые холмы; их названия, расположение и конфигурация формируют своеобразный пласт культурного наследия. Коллективом авторов при участии А. К. Карабанова подготовлена и опубликована монография «Сакральныя ўзгоркі Беларусі» (Вінакураў і др., 2021), в которой холмы рассматриваются в качестве природных ландшафтных объектов и как своеобразное этнокультурное пространство в мифологической и ритуальной традиции. Позже текст монографии 2011 г. был значительно расширен и переработан, что послужило основанием для

выпуска второго издания (Карабанаў і др., 2022). В обновленном варианте книги приведены описания более 500 валунов, дана их геологическая и этнографическая характеристика.

Важным аспектом научной деятельности А. К. Карабанова было участие в разработке стратиграфических схем отложений квартера территории Беларуси. Проблема составления актуальной и современной схемы стратиграфического расчленения четвертичных отложений Беларуси остро стояла в начале 2000-х гг. С момента опубликования предыдущего варианта схем прошло около тридцати лет, накопившиеся научные материалы за этот период требовали тщательного обобщения. Большим авторским коллективом при участии Александра Кирилловича в 2005 г. был представлен проект третьего поколения стратиграфической схемы четвертичных отложений Беларуси, в которой выделялись горизонты и подгоризонты, предложена схема районирования территории страны по особенностям строения четвертичного разреза (Санько и др., 2005). В дальнейшем проект схемы был предложен к утверждению в качестве унифицированного варианта стратиграфической схемы четвертичных отложений Беларуси, рассмотрен и утвержден приказом Департамента по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь № 49 от 22.09.2010 г. и опубликован (Кручек и др., 2010).

Большой объем исследований был выполнен при активном участии А. К. Карабанова в рамках совместных белорусско-польских региональных геологических работ. Во время проведения полевых исследований на территории Брестского, Березовского, Каменецкого, Кобринского и Малоритского районов Брестской области получены новые данные о геологическом строении четвертичных отложений, уточняющие границу распространения припятского оледенения в приграничных районах Беларуси и Польши, а также об истории развития растительности позднеберезинского, александрийского и раннеприпятского времени в указанном регионе (Marks et al., 2018). По полученным материалам подготовлены и опубликованы комплекты геологических карт приграничной территории Польши и Беларуси в масштабе 1 : 250 000 (районы гг. Бяла-Подляска, Брест, Сокулка, Гродно) (Ber et al., 2011; Krzywicki et al., 2017).

Неотектоника и неогеодинамика территории Беларуси и смежных регионов, геоэкология

Изучение научного наследия А. К. Карабанова позволяет сделать вывод о том, что разработкой проблем неотектоники и неогеодинамики территории Беларуси и сопредельных регионов Европы он занялся в середине 1980-х гг. совместно со своим учителем Э. А. Левковым, сразу же после защиты кандидатской диссертации. Это научное направление стало для него одним из главных. Так, уже в 1987 г. в журнале «Геоморфология» была опубликована одна из первых работ А. К. Карабанова, посвященная оценке роли неотектоники и оледенения в формировании гидрографической сети Белоруссии (Левков, Карабанов, 1987b). Согласно приведенным в этой работе данным, за новейший этап (от среднего олигоцена до настоящего



времени) территория Белоруссии испытала неравномерную деформацию с амплитудой 150–170 м. Результатом этого явилась заметная перестройка структурного плана с образованием моноклинали, направленной с юго-востока на северо-запад в сторону Прибалтики, что сказалось на особенностях формирования современного рисунка гидросети. Например, некоторые спрямленные участки долин Днепра, Припяти, Западной Двины, Березины и других рек контролируются локальными структурами. Другие работы были посвящены выявлению активизированных на новейшем этапе разломов и их влиянию на формирование ледникового рельефа в северной части Белоруссии. Подробно описан Жеринский линеймент, образованный в результате тектонических движений по активному в позднем плейстоцене Чашникскому разлому и в современной земной поверхности представленный полосой ориентированного рельефа шириной от 0.2 до 1.0 км, состоящей из озовых и озоподобных гряд (Левков, Карабанов, 1994b).

Накопленные к концу 1980-х гг. материалы по неотектонике позволили Э. А. Левкову и А. К. Карабанову разработать карту неотектонического районирования территории Белоруссии (Левков, Карабанов, 1987а). На ней показаны изобазы суммарной неотектонической деформации допозднеолигоценовой поверхности, активные на новейшем этапе соляные структуры, площади позднеолигоцен-плейстоценового карстообразования, линейменты, кольцевые структуры, эпицентры землетрясений, выделены неотектонические зоны, локальные структуры и др. В работе также охарактеризованы две стадии, на которые подразделяется неотектонический этап: позднеолигоцен-неогеновая и антропогеновая. Кроме этого, была разработана оригинальная схема неотектонического районирования территории Белоруссии по данным дешифрирования космических снимков (Губин и др., 1988). Сформулированы дешифровочные признаки главных ландшафтных индикаторов проявлений новейшей тектоники, выделены зоны региональных разломов, кольцевые и локальные структуры, проявившиеся на неотектоническом этапе, площади поднятий и опусканий.

Особенно плодотворной стала работа, проведенная А. К. Карабановым во второй половине 1990-х гг. совместно с учеными НАН Беларуси, группой геологов из Украины, Польши, Литвы, Латвии, России, Германии, Дании и других стран в рамках проекта № 346 Международной программы геологической корреляции ЮНЕСКО «Неогеодинамика депрессии Балтийского моря и прилегающих областей» (1994–1997 гг.). Полученные при выполнении этого проекта материалы легли в основу защищенной Александром Кирилловичем в 2002 г. диссертации «Неотектоника Беларуси» на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук, а также ряда коллективных монографий (Айзберг и др., 2007, 2009; Карабанов и др., 2009) и научных статей в ведущих отечественных и зарубежных изданиях (Гарецкий и др., 1999; Палиенко и др., 1998; Garetsky et al., 1997).

Основные результаты исследований, полученные А. К. Карабановым по рассматриваемому направлению, заключаются в ряде научных положений. Была разработана оригинальная методика реконструкции амплитуд неотектонических движений, которая

позволила выделить неотектонические структуры разного ранга и выявить характер тектонических и геодинамических процессов, протекавших в новейшее время на территории Беларуси и смежных областей Центральной Европы. Определены суммарные амплитуды неотектонических движений и проведено неотектоническое районирование западного сектора Евразийской литосферной плиты, установлены крупнейшие неотектонические структуры запада Восточно-Европейской и Западно-Европейской платформ. На территории Беларуси А. К. Карабанов выделил 11 неотектонических структур второго ранга и сотни локальных, установил основные особенности сети активных в новейшее время разрывных нарушений земной коры, дал их классификацию и определил основные кинематические типы, выявил главные геодинамические факторы, определявшие характер неотектонических процессов, особенности напряженного состояния верхней части земной коры территории республики и сопредельных областей Восточно-Европейской платформы (воздействие Альпийско-Карпатского орогена, заложение в среднем плейстоцене Восточно-Балтийской рифтовой системы, гляциоизостатическое и гляциотектоническое воздействие плейстоценовых оледенений).

Важным результатом исследований А. К. Карабанова является разработка в составе научного коллектива сейсмотектонической карты Белорусско-Прибалтийского региона, на которой выделены связанные с активными разломами сейсмогенные и потенциально-сейсмогенные зоны возможного возникновения очагов землетрясений, контролирующее распределение эпицентров землетрясений (Айзберг и др., 1997; Гарецкий и др., 1997). Результаты этих исследований в последующем были использованы при выборе участка для строительства Белорусской атомной электростанции (Карабанов и др., 2012).

В последние годы А. К. Карабанов много внимания уделял радоновой проблематике. Совместно с академиком А. В. Матвеевым и к. г.-м. н. М. И. Автушко были изучены особенности распределения объемной активности радона в наиболее распространенных типах четвертичных отложений и коренных пород платформенного чехла и кристаллического фундамента на территории Беларуси. Выделены радоновые аномалии в приповерхностных отложениях, построена схема районирования территории Беларуси по степени радоновой опасности. Обоснованы мероприятия по минимизации возможного негативного влияния радоновых аномалий на геоэкологическую обстановку, разработаны рекомендации по проведению постоянного мониторинга объемной активности радона и состояния здоровья населения в наиболее радоноопасных зонах (Матвеев и др., 2017). Проведенные расчеты показали: в среднем по стране доза облучения населения за счет радона составляет 3.6 мЗв/год, что значительно превышает получаемую дозу от «чернобыльских» радионуклидов на загрязненных территориях, которая в настоящее время редко превышает значение в 1 мЗв/год (Ярошевич и др., 2013). При участии А. К. Карабанова была разработана геоинформационная база данных, которая ежегодно актуализируется и является информационной основой для планирования и реализации мониторинга радиоэкологической ситуации на терри-



тории Беларуси, зонирования территории и оценки доз облучения населения радоном (Жук и др., 2019).

Заключение

Академика А. К. Карабанова нет с нами более трех лет. В воспоминаниях людей, которые знали его и работали с ним, он предстает как человек с высокими личностными качествами. Его отличали доброжелательность, интеллигентность, широкая эрудированность, деликатность. Кроме добрых воспоминаний о себе Александр Кириллович оставил в наследие нам и потомкам результаты своей творческой деятельности, изложенные более чем в 450 научных и научно-популярных публикациях, в том числе 30 монографиях, более 50 картах и атласах. В данной статье кратко рассмотрены лишь основные результаты его исследований в области наук о Земле. Безусловно, научные достижения Александра Кирилловича значительно масштабнее и заслуживают более детального анализа как в области неотектоники и неогеодинамики, так и по другим направлениям — четвертичной геологии, стратиграфии и палеогеографии, геоморфологии и геоэкологии.

Литература / References

- Айзберг Р. Е., Аронов А. Г., Аронова Т. И., Бояркин С. А. и др. Сейсмоструктура плит древних платформ в области четвертичного оледенения. М.: Книга и Бизнес, 2009. 288 с.
- Aizberg R. E., Aronov A. G., Aronova T. I., Boyarkin S. A. et al. *Seismotektonika плит drevnikh platform v oblasti chetvertichnogo oledeneniya* (Seismotectonics of plates of ancient platforms in the area of Quaternary glaciation). Moscow: Kniga i Biznes, 2009, 288 p.
- Айзберг Р. Е., Аронов А. Г., Гарецкий Р. Г., Карабанов А. К., Сафронов О. Н. Сейсмоструктура Беларуси и Прибалтики // Литасфера. 1997. № 7. С. 5—18.
- Aizberg R. E., Aronov A. G., Garetskii R. G., Karabanov A. K., Safronov O. N. *Seismotektonika Belarusi i Pribaltiki* (Seismotectonics within the territory of Belarus and the Baltic States). *Litasfera* (Lithosphere), 1997, No. 7, pp. 5—18.
- Айзберг Р. Е., Гарецкий Р. Г., Карабанов А. К., Каратаев Г. И. и др. Разломы земной коры Беларуси. Минск: Красико-Принт, 2007. 372 с.
- Aizberg R. E., Garetskii R. G., Karabanov A. K., Karataev G. I. et al. *Razlomy zemnoi kory Belarusi* (Faults in the earth's crust of Belarus). Minsk: Krasiko-Print, 2007, 372 p.
- Гарецкий Р. Г., Айзберг Р. Е., Карабанов А. К., Палиенко В. П., Шляупа А. И. Новейшая тектоника и геодинамика Центральной Европы // Геотектоника. 1999. № 5. С. 3—14.
- Garetskii R. G., Aizberg R. E., Karabanov A. K., Palienko V. P., Shlyupa A. I. *Noveishaya tektonika i geodinamika Tsentral'noi Evropy* (Neotectonics and Neogeodynamics of the Central Europe). *Geotektonika* (Geotectonics), 1999, No. 5, pp. 3—14.
- Гарецкий Р. Г., Айзберг Р. Е., Карабанов А. К., Сафронов О. Н. Общее сейсмическое районирование Белорусско-Прибалтийского региона // Доклады Академии наук Беларуси. 1997. Т. 41. № 4. С. 98—102.
- Garetskii R. G., Aizberg R. E., Karabanov A. K., Safronov O. N. *Obshchee seismicheskoe raionirovanie Belorussko-Pribaltiiskogo regiona* (General seismic zoning of the Belarusian-Baltic region). *Doklady Akademii nauk Belarusi* (Doklady of the Academy of Sciences of Belarus), 1997, V. 41, No. 4, pp. 98—102.
- Губин В. Н., Левков Э. А., Карабанов А. К. Неотектоническое районирование территории Белоруссии на основе космической информации // Исследование Земли из космоса. 1988. № 5. С. 50—56.
- Gubin V. N., Levkov E. A., Karabanov A. K. *Neotektonicheskoe raionirovanie territorii Belorussii na osnove kosmicheskoi informatsii* (Neotectonic regionalization of Byelorussia using space data). *Issledovanie Zemli iz kosmosa* (Soviet Journal of Remote Sensing), 1988, No. 5, pp. 50—56.
- Гурский Б. Н., Левков Э. А., Карабанов А. К., Бессараб Д. А. Новые данные о границах оледенений на территории Белоруссии // Доклады Академии наук БССР. 1990. Т. 34. № 4. С. 345—348.
- Gurskii B. N., Levkov E. A., Karabanov A. K., Bessarab D. A. *Novye dannye o granitsakh oledeneniya na territorii Belorussii* (New data on the boundaries of glaciation on the territory of Byelorussia). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1990, V. 34, No. 4, pp. 345—348.
- Жук И. В., Карабанов А. К., Сафронова А. А., Леонтьева Т. Г. и др. Концентрация радона в воздухе помещений Витебской, Могилевской и Гомельской областей Беларуси и оценка дозы облучения населения радоном // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2019. Т. 63. № 1. С. 87—95. DOI: 10.29235/1561-8323-2019-63-1-87-95
- Zhuk I. V., Karabanov A. K., Safronava A. A., Leontieva T. G. et al. *Kontsentratsiya radona v vozdukhke pomeshchenii Vitebskoi, Mogilevskoi i Gomel'skoi oblasti Belarusi i otsenka dozy oblucheniya naseleniya radonom* (Indoor radon concentrations in the Vitebsk, Mogilev and Gomel regions of Belarus and assessment of the radon dose for the population). *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* (Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus), 2019, V. 63, No. 1, pp. 87—95. DOI: 10.29235/1561-8323-2019-63-1-87-95
- Карабанов А. К. Гродненская возвышенность: строение, рельеф, этапы формирования. Минск: Наука и техника, 1987. 108 с.
- Karabanov A. K. *Grodenskaya vozvyshennost': stroenie, rel'ef, etapy formirovaniya* (Grodno Upland: structure, relief, stages of formation). Minsk: Nauka i tekhnika, 1987, 108 p.
- Карабанов А. К., Айзберг Р. Е., Гарецкий Р. Г., Аронов А. Г. и др. Сейсмоструктурные условия района размещения Островецкой АЭС (Беларусь) // Геологическая среда, минерагенические и сейсмоструктурные процессы: Материалы 18-й Международной научно-практической конференции. 2012. С. 146—150.
- Karabanov A. K., Aizberg R. E., Garetskii R. G., Aronov A. G. et al. *Seismotektonicheskie usloviya raiona razmeshcheniya Ostrovetskoi AES (Belarus)* (Seismotectonic conditions of the Ostrovets NPP location area (Belarus)). *Geologicheskaya sreda, minerenicheskie i seismotektonicheskie protsessy: materialy 18-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Proceedings of the 18th International scientific-practical conference «Geological environment,

- mineragenic and seismotectonic processes»), 2012, pp. 146–150.
- Карабанов А. К., Гарецкий Р. Г., Айзберг Р. Е. Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы. Минск: Беларуская навука, 2009. 183 с. Karabanov A. K., Garetskii R. G., Aizberg R. E. *Neotektonika i neogeodinamika zapada Vostochno-Evropskoi platformy* (Neotectonics and neogeodynamics of the Western part of the East-European Platform). Minsk: Belaruskaya nauka, 2009, 183 p.
- Карабанов А. К., Левков Э. А. Камоиды Белорусского Поозерья // Доклады Академии наук Беларуси. 1993. Т. 37. № 5. С. 90–93. Karabanov A. K., Levkov E. A. *Kamoidy Belorusskogo Poozer'ya* (Kame-like hills of the Belarusian Poozerye). *Doklady Akademii nauk Belarusi* (Doklady of the Academy of Sciences of Belarus), 1993, V. 36, No. 5, pp. 90–93.
- Карабанов А. К., Левков Э. А. О генезисе гряд, обваловывающих озерные котловины в Белорусском Поозерье // Доклады Академии наук Беларуси. 1992. Т. 36. № 5. С. 446–449. Karabanov A. K., Levkov E. A. *O genezise gryad, obvalovuyushchikh ozernye kotloviny v Belorusskom Poozer'e* (On the Genesis of Ridges Enclosing Lake Depressions in the Byelorussian Poozerye). *Doklady Akademii nauk Belarusi* (Doklady of the Academy of Sciences of Belarus), 1992, V. 36, No. 5, pp. 446–449.
- Карабанов А. К., Левков Э. А. О методе угловых несогласий в гляциоморфологии территории Белоруссии // Доклады Академии наук БССР. 1986. Т. XXX. № 4. С. 358–361. Karabanov A. K., Levkov E. A. *O metode uglovykh nesoglasii v glyatsiomorfologii territorii Belorussii* (On the method of angular unconformities in the glaciomorphology of the territory of Byelorussia). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1986, V. XXX, No. 4, pp. 358–361.
- Карабанов А. К., Левков Э. А. О природе озерных котловин ложбинного типа // Доклады Академии наук БССР. 1988. Т. XXXII. № 7. С. 650–653. Karabanov A. K., Levkov E. A. *O prirode ozernykh kotlovin lozhbinnogo tipa* (On the origin of lake basins of the hollow type). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1988, V. XXXII, No. 7, pp. 650–653.
- Карабанов А. К., Левков Э. А. Озы выдавливания в Белорусском Поозерье // Доклады Академии наук БССР. 1990. Т. 34. № 6. С. 547–549. Karabanov A. K., Levkov E. A. *Ozy vydavlivaniya v Belorusskom Poozer'e* (Squeezing os in the Byelorussian Poozerye). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1990, V. 34, No. 6, pp. 547–549.
- Кручек С. А., Матвеев А. В., Якубовская Т. В., Обуховская Т. Г. и др. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси. Объяснительная записка. Минск: ГП «БелНИГРИ», 2010. 282 с. Kruchek S. A., Matveev A. V., Yakubovskaya T. V., Obukhovskaya T. G. et al. *Stratigraficheskie skhemy dokembriiskikh i fanerozoiskikh otlozhenii Belarusi: ob'yasnitel'naya zapiska* (Stratigraphic charts of Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus. Explanatory note). Minsk: GP «BelNIGRI», 2010, 282 p.
- Левков Э. А., Карабанов А. К. Неотектоническое районирование территории Белоруссии // Доклады Академии наук БССР. 1987а. Т. XXXI. № 9. С. 821–824. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Neotektonicheskoe raionirovanie territorii Belorussii* (Neotectonic regionalization of Byelorussia). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1987a, V. XXXI, No. 9, pp. 821–824.
- Левков Э. А., Карабанов А. К. О величине экзарационного среза в центре Скандинавского оледенения // Доклады Академии наук Беларуси. 1994а. Т. 38. № 1. С. 95–97. Levkov E. A., Karabanov A. K. *O velichine ekzaratsionnogo sreza v tsentre Skandinavskogo oledeneniya* (On the size of the exaration section in the center of the Scandinavian glaciation). *Doklady Akademii nauk Belarusi* (Doklady of the Academy of Sciences of Belarus), 1994a, V. 38, No. 1, pp. 95–97.
- Левков Э. А., Карабанов А. К. О позднеплейстоценовой активизации разломов в Белорусском Поозерье // Доклады Академии наук Беларуси. 1994b. Т. 38. № 5. С. 92–95. Levkov E. A., Karabanov A. K. *O pozdnepleistotsenovoii aktivizatsii razlomov v Belorusskom Poozer'e* (On the Late Pleistocene activation of faults in the Byelorussian Poozerye). *Doklady Akademii nauk Belarusi* (Doklady of the Academy of Sciences of Belarus), 1994b, V. 38, No. 5, pp. 92–95.
- Левков Э. А., Карабанов А. К. Реликтовый пинго на территории Белоруссии // Доклады Академии наук БССР. 1990. Т. 34. № 5. С. 463–465. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Reliktovyy pingo na territorii Belorussii* (Relict pingo on the territory of Byelorussia). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1990, V. 34, No. 5, pp. 463–465.
- Левков Э. А., Карабанов А. К. Роль неотектоники и оледенения в формировании гидрографической сети Белоруссии // Геоморфология. 1987b. № 4. С. 67–73. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Rol' neotektoniki i oledeneniya v formirovanii gidrograficheskoi seti Belorussii* (Neotectonics significance for the drainage net formation in Byelorussia). *Geomorfologiya* (Geomorphology), 1987b, No. 4, pp. 67–73.
- Левков Э. А., Карабанов А. К., Губин В. Н. О криогенных явлениях у границы последнего оледенения // Доклады Академии наук БССР. 1988а. Т. XXXII. № 6. С. 533–536. Levkov E. A., Karabanov A. K., Gubin V. N. *O kriogennykh yavleniyakh u granitsy poslednego oledeneniya* (On cryogenic effects at the boundary of the last glaciation). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of the Academy of Sciences of BSSR), 1988a, V. XXXII, No. 6, pp. 533–536.
- Левков Э. А., Людвиг А. О., Карабанов А. К. О роли термокарстовых процессов в формировании гидросети и времени исчезновения многолетнемерзлых пород на территории Белоруссии // Доклады Академии наук БССР. 1988b. Т. XXXII. № 4. С. 343–346. Levkov E. A., Lyudvig A. O., Karabanov A. K. *O roli termokarstovykh protsessov v formirovanii gidroseti i vremeni ischeznoveniya mnogoletnemerzlykh porod na territorii Belorussii* (On the role of thermokarst processes in the formation of the hydrographic network and the time of disappearance of permafrost on the territory of Byelorussia). *Doklady Akademii nauk BSSR* (Doklady of



- the Academy of Sciences of BSSR), 1988b, V. XXXII, No. 4, pp. 343–346.
- Матвеев А. В., Карабанов А. К., Автушко М. И. Радон в геологических комплексах Беларуси. Минск: Беларуская навука, 2017. 136 с.
- Matveev A. V., Karabanov A. K., Avtushko M. I. *Radon v geologicheskikh kompleksakh Belarusi* (Radon in the geological complexes of Belarus). Minsk: Belaruskaya navuka, 2017, 136 p.
- Мизин В. Г., Карабанов А. К., Винокуров В. Ф., Дучиц Л. В. и др. Культурные камни Восточной Европы: Беларусь, Латвия, Литва, Россия. СПб.: Гуманитарная академия, 2018. 320 с.
- Mizin V. G., Karabanov A. K., Vinokurov V. F., Duchits L. V. et al. *Kul'tovye kamni Vostochnoi Evropy: Belarus, Latvija, Litva, Rossiya* (Cult stones of the Eastern Europe: Belarus, Latvia, Lithuania, Russia). St. Petersburg: Gumanitarnaya Akademiya, 2018, 320 p.
- Палиенко В. П., Гарецкий Р. Г., Карабанов А. К., Айзберг Р. Е., Шляупа А. И. Прикладные аспекты неогеодинимических исследований // Литасфера. 1998. № 8. С. 12–18.
- Palienko V. P., Garetskii R. G., Karabanov A. K., Aizberg R. E., Shlyupa A. I. *Prikladnye aspekty neogeodinamicheskikh issledovaniy* (Applied aspects of neogeodynamic research). *Litasfera* (Lithosphere), 1998, No. 8, pp. 12–18.
- Санько А. Ф., Величкевич Ф. Ю., Рылова Т. Б., Хурсевич Г. К. и др. Стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси // Литасфера. 2005. № 1 (22). С. 146–156.
- San'ko A. F., Velichkevich F. Yu., Rylova T. B., Khursevich G. K. et al. *Stratigraficheskaya skhema chetvertichnykh otlozhenii Belarusi* (Stratigraphic chart of the Quaternary deposits of Belarus). *Litasfera* (Lithosphere), 2005, No. 1 (22), pp. 146–156.
- Ярошевич О. И., Карабанов А. К., Конопелько М. В., Матвеев А. В. и др. Исследования по проблемам радона в Беларуси и других странах Европы // Вестник Фонда фундаментальных исследований. 2013. № 4. С. 101–117.
- Yaroshevich O. I., Karabanov A. K., Konopelko M. B., Matveev A. V. et al. *Issledovaniya po probleme radona v Belarusi i drugikh stranakh Evropy* (Studies on the radon problem in Belarus and other countries of Europe). *Vestnik Fonda fundamental'nykh issledovaniy* (Vestnik of the Foundation for Fundamental Research), 2013, No. 4, pp. 101–117.
- Вінакураў В. Ф., Дучыц Л. У., Зайкоўскі Э. М., Капылю І. Л., Карабанай А. К., Клімковіч І. Я. Сакральныя ўзгоркі Беларусі. Мінск: Беларуская навука, 2021. 268 с.
- Vinakurau V. F., Duchyc L. U., Zajkowski Je. M., Kapylou I. L., Karabanau A. K., Klimkovich I. Ja. *Sakral'nyya uzgorki Belarusi* (The sacred hills of Belarus). Minsk: Belaruskaya navuka, 2021, 268 p.
- Карабанай А. К., Вінакураў В. Ф., Дучыц Л. У., Зайкоўскі Э. М., Клімковіч І. Я. Культывыя і гістарычныя валуны Беларусі. Мінск: Беларуская навука, 2011. 235 с.
- Karabanau A. K., Vinakurau V. F., Duchyc L. U., Zajkowski Je. M., Klimkovich I. Ja. *Kul'tavyya i gistarychnyya valuny Belarusi* (Cult and historical boulders of Belarus). Minsk: Belaruskaya navuka, 2011, 235 p.
- Карабанай А. К., Вінакураў В. Ф., Дучыц Л. У., Зайкоўскі Э. М., Клімковіч І. Я. Культывыя і гістарычныя валуны Беларусі (2-е выданне). Мінск: Беларуская навука, 2022. 404 с.
- Karabanau A. K., Vinakurau V. F., Duchyc L. U., Zajkowski Je. M., Klimkovich I. Ja. *Kul'tavyya i gistarychnyya valuny Belarusi (2-e vydanne)* (Cult and historical boulders of Belarus (2nd edition)). Minsk: Belaruskaya navuka, 2022, 404 p.
- Ляўкоў, Э. А. Маўклівыя сведкі мінуўшчыны. Мінск: Навука і тэхніка, 1992. 213 с.
- Lyaukou E. A. *Mauklivyya svedki minuušchyны* (Silent witnesses of the past). Minsk: Navuka i tekhnika, 1992, 213 p.
- Ber A., Gastoł-Palechowska B., Krzywicki T., Lisicki S. et al. Geologocal map of Northern part of Polish-Belarusian cross-border area 1 : 250 000. Explanatory text. Warsaw: Polish Geological Institute — National Research Institute, 2011. 78 p.
- Garetsky R. G., Aizberg R. E., Karabanov A. K., Karataev G. I. Beziehungen zwischen den Hauptlithosphärenengrenzen im Westen des Osteuropäischen Kratons (IGCP Projekt 346) // Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge. 1997. № 1. S. 55–66.
- Krzywicki T., Majecka A., Marks L., Nitychoruk J. et al. Geological map of Southern part of Polish-Belarusian cross-border area (Biała Podlaska and Brest region) 1 : 250 000. Explanatory text. Warsaw: Polish Geological Institute — National Research Institute, 2017. 134 p.
- Marks L., Karabanov A., Nitychoruk J., Bahdasarau M. et al. Revised limit of the Saalian ice sheet in central Europe // *Quaternary International*. 2018. Vol. 478. P. 59–74. DOI: 10.1016/j.quaint.2016.07.043

Поступила в редакцию / Received 30.03.2023



ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций

50

Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations

Уважаемые коллеги!

1 июля 2023 года лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии имени академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН исполняется 50 лет. В честь этого торжественного события сотрудниками лаборатории планируется проведение следующих мероприятий.

1. Полевая геологическая экскурсия

«Малое геологическое кольцо Республики Коми» (19–23 июня 2023 г).

Маршруты будут проходить по территории Усть-Куломского, Троицко-Печорского, Сосногорского и Ухтинского районов. Геологическими объектами экскурсии являются рифейские и палеозойские разнофациальные терригенные и карбонатные отложения в естественных выходах, легкодоступных для исследования.

2. Литолого-геохимическая школа

«Литология и геохимия осадочных образований» (26–30 июня 2023 г.)

Планируются доклады сотрудников лаборатории об истории развития лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций в работе тематических совещаний и о новых направлениях исследования лаборатории, а также по разным аспектам литологии и геохимии осадочных образований. Кроме того, ожидаются доклады приглашенных лекторов, охватывающие вопросы литогеохимии, проблемы литологии в тектонике, природных резервуаров, терригенной седиментации в Тимано-Печорском бассейне и на Марсе и современной седиментации на Срединно-Атлантическом хребте.

Также будут проходить практические занятия по тематическим коллекциям сотрудников лаборатории, демонстрирующим разнообразие генетических типов исследуемых осадочных пород.

Приглашаем принять участие в работе школы!

Организатор семинара:

лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии имени академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Председатель оргкомитета:

А. И. Антошкина, д. г.-м. н., гл. н. с. ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Секретарь:

Е. С. Пономаренко, к. г.-м. н., с. н. с. ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Dear Colleagues!

July 1, 2023, marks 50 years of the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations at the Institute of Geology named after Academician N. P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS. The following activities are devoted to this solemn event.

1. Field geological excursion

"Small Geological Ring of the Komi Republic" (June 19–23, 2023).

The routes will pass through the territory of Ust'-Kulom, Troitsko-Pechorsk, Sosnogorsk, and Ukhta districts. The geological objects of the excursion are the Riphean and Paleozoic heterogeneous facies of terrigenous and carbonate deposits in natural outcrops that are accessible for study.

2. Lithological and geochemical school

"Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations" (June 26–30, 2023)

Reports of the laboratory staff are planned on the history of the development of the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations, in thematic meetings and new directions in the research of the laboratory, as well as on various aspects of lithology and geochemistry of sedimentary formations. In addition, reports by invited lecturers are expected to cover problems of lithogeochemistry, lithology in tectonics, natural reservoirs, terrigenous sedimentation in the Timan-Pechora basin and on Mars, and modern sedimentation on the Mid-Atlantic Ridge.

Practical classes on thematic collections of the laboratory staff will demonstrate diverse genetic types of the studied sedimentary rocks.

We invite you to take part in the work of the school!

Seminar organizer:

Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations at the N. P. Yushkin Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS.

Chairman of the Organizing Committee:

A. I. Antoshkina, D.Sc. (geol.-mineral.), Chief Researcher IG FRC Komi SC UB RAS.

Secretary:

E. S. Ponomarenko, Cand. Sc. (geol.-mineral.), Senior Researcher IG FRC Komi SC UB RAS.

**Оргкомитет:**

В. А. Салдин, А. Н. Сандула, Л. А. Шмелева,
Н. С. Инкина, А. Н., Шадрин, Д. Н. Шеболкин,
Е. В. Антропова.

Organizing Committee:

V. A. Saldin, A. N. Sandula, L. A. Shmeleva, N. S. Inkina,
A. N. Shadrin, D. N. Shebolkin, E. V. Antropova.



Путеводитель экскурсии можно посмотреть на официальном сайте Института геологии / The excursion guide can be viewed on the official website of the Institute of Geology:
https://geo.komisc.ru/science_results/scientific-publication/proceedingofmeetings/monographs/2021-4



Программу литолого-геохимического семинара можно посмотреть по ссылке / The program of the Lithological and Geochemical Seminar can be viewed at the link:
<https://cloud.mail.ru/public/K562/Bv3GtoWe6>



Доклады лектория будут транслироваться на youtube.com-канале Института геологии / The reports will be broadcast on the YouTube channel of the Institute of Geology:
<https://www.youtube.com/@komigeology/featured>

Новые издания • New publications

УДК 552.321:550.93:550.4 (234.851)

DOI 10.19110/98491-044

Гранитоиды севера Урала: геохронология, эволюция, источники / О. В. Удоратина, К. В. Куликова, А. С. Шуйский, А. А. Соболева, В. Л. Андреичев, И. И. Голубева, В. А. Капитанова. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 120 с.

Проведено обобщение полученных в последние десятилетия U-Pb-цирконовых возрастов (SIMS, LA-ICP-MS, TIMS) и петрогеохимических характеристик гранитоидов севера Урала (Полярный, Приполярный и Северный Урал). Показано, что магмы, из которых были образованы рассмотренные гранитоиды, выплавились на всех выделенных для этого региона геодинамических стадиях из крайне неоднородных по составу и возрасту субстратов. На стадии формирования доуралид: островодужные примитивной островной дуги (735–720 млн лет), аккреционные (670), коллизионные (650–520), рифтогенные (520–480 млн лет). На стадии формирования уралид: островодужные примитивной островной дуги (460–429 млн лет), островодужные зрелой островной дуги (412–368), коллизионные ранние (360–316), коллизионные поздние (277–249 млн лет). Выявлена общая тенденция изменения во времени изотопных составов кислорода ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Zrn}}$, ‰), неодима ($\epsilon\text{Nd}_{(t)_{\text{WR}}}$) и гафния ($\epsilon\text{Hf}_{(t)_{\text{Zrn}}}$).

Мантийные характеристики, типичные для островодужных (доуралиды) гранитов, меняются на корово-мантийные, характерные для коллизионных гранитов, в которых отмечено большее влияние корового вещества при формировании расплавов, и далее меняются на значения с мантийными характеристиками, присущими рифтогенным и островодужным (уралиды) гранитоидам.

Granitoids of the north of the Urals: geochronology, evolution, sources / O. V. Udoratina, K. V. Kulikova, A. S. Shuysky, A. A. Soboleva, V. L. Andreichev, I. I. Golubeva, V. A. Kapitanova. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2022. 120 p.

The U-Pb zircon ages (SIMS, LA-ICP-MS, TIMS) and petrogeochemical characteristics of granitoids of the northern Urals (Polar, Subpolar and Northern Urals), obtained in recent decades, were generalized. The magmas, from which the considered granitoids were formed, were melted at all geodynamic stages identified for this region from substrates that were extremely heterogeneous in composition and age. At the stage of formation of preuralids: island arc of a primitive island arc (735–720 Ma), accretionary (670 Ma), collisional (650–520 Ma), riftogenic (520–480 Ma). At the stage of formation of the Uralides: island arc of a primitive island arc (460–429 Ma), island arc of the mature island arc (412–368 Ma), early collisional (360–316 Ma), and late collisional (277–249 Ma). A general trend of time variation in the isotopic compositions of oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Zrn}}$, ‰), neodymium ($\epsilon\text{Nd}_{(t)_{\text{WR}}}$), and hafnium ($\epsilon\text{Hf}_{(t)_{\text{Zrn}}}$) is revealed. Mantle characteristics, typical of island-arc (preuralides) granites, change to crustal-mantle characteristics, characteristic of collisional granites, in which a greater influence of crustal matter during the formation of melts is noted, and then change to values with mantle characteristics inherent in riftogenic and island-arc (uralides) granitoids.



ISBN 978-5-98491-037-8

Ткачев Ю. А. **Эпизоды**. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 470 с.

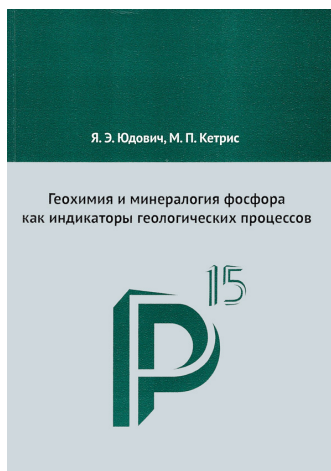
Автор этих рассказов, Юрий Андреевич Ткачев, был очень многогранным человеком. Он известен своими трудами в области геостатистики, математического моделирования геологических процессов и явлений, геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых и даже горного права. Но данной книгой мы бы хотели открыть еще одну грань таланта Юрия Андреевича — писательского. Его «Эпизоды» были ярким литературным украшением «Вестника Института геологии Коми научного центра». Снабженные замечательными рисунками В. И. Ракина, они притягивали читателей к нашему журналу, делали его популярнее, заставляли ждать следующего номера.

В этих рассказах отражена не только жизнь автора, но и некоторые скрытые напутствия молодому поколению. Юрий Андреевич излагал их мастерски, как отличный педагог и настоящий профессор. Идея издать эти рассказы, блистательно описывающие жизнь ученого-геолога, возникла давно. К сожалению, издание вышло посмертным — ковид безнадежно подорвал здоровье пожилого человека. Пусть эта книга будет памятником Ю. А. Ткачеву и его талантам. Вы увидите, как много их было...

Tkachev Yu. A. **Episodes**. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2022. 470 p.

The author of these stories, Yury Andreevich Tkachev, was a very versatile person. He is known for his works in the field of geostatistics, mathematical modeling of geological processes and phenomena, geological and economic evaluation of mineral deposits and even mining law. But with this book, we would like to open another facet of Yury Andreevich's talent — writing. His "Episodes" were a bright literary decoration of the "Vestnik of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center". With wonderful drawings by V. I. Rakin, they attracted readers to our journal, made it more popular, and made them wait for the next issue.

These stories reflect not only the life of the author, but also some hidden parting words to the younger generation. Yury Andreevich told them masterfully, like an excellent teacher and a real professor. The idea to publish these stories, brilliantly describing the life of the geologist, arose long ago. Unfortunately, the publication was published posthumously — Covid hopelessly undermined the health of the elderly person. Let this book be a monument to Yu. A. Tkachev and his talents. You will see how many there were of them...



УДК 550.42

Юдович Я. Э., Кетрис М. П. **Геохимия и минералогия фосфора как индикаторы геологических процессов**. Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. 196 с.

Книга состоит из предисловия, введения и пяти глав. Вначале объясняется замысел работы — использование выявленных ранее эмпирических закономерностей в минералогии (главы 1 и 3) и геохимии фосфора (главы 2–5) для индикации геологических процессов. Исходным материалом послужили опубликованные авторами обобщения в ряде книг (1988, 1994, 2008, 2011, 2020, 2022 гг. и др.), а также некоторые новые материалы за период 2009–2020 гг., ранее упущенные в указанных обобщениях.

Вследствие новизны проблемы — использования уже выявленных эмпирических закономерностей минералогии и геохимии фосфора для индикации породивших их процессов — монография имеет важное прикладное значение.

Yudovich Ya. E., Ketris M. P. **Geochemistry and mineralogy of phosphorus as indicators of geological processes**. Syktyvkar: FRC Komi SC UB RAS, 2023. 196 pp.

The book consists of Preface, Introduction and 5 Chapters. First, the idea of the work is explained — the use of previously identified empirical patterns in mineralogy (Chapters 1 and 3) and phosphorus geochemistry (Chapters 2–5) to indicate geological processes. The source material was the generalizations published by the authors in a number of books (1988, 1994, 2008, 2011, 2020, 2022 and others), as well as some new materials for the period 2009–2020, previously unmentioned in these books.

Due to the novelty of the problem — the use of already identified empirical laws of mineralogy and geochemistry of phosphorus to indicate parent processes — the monograph has an important applied value.

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.05.2023. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1202. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото А. Перетягина, Р. Шайбекова, С. Исаенко, Н. Уляшевой, Ю. Голубевой