



Vestnik of Geosciences **Вестник геонаук**

Февраль
February
2023,
№ 2 (338)

Журнал издается под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН
The journal is published under the research and methodological guidance of the RAS Department of Earth Sciences

Главный редактор А. М. Асхабов

Зам. главного редактора И. Н. Бурцев

Зам. главного редактора О. Б. Котова

Ответственный секретарь И. В. Козырева

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

Редакционный совет

Л. Н. Андреева, 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, Ору-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

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. Voytekhevsky, 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, Yekaterinburg, 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

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание**Content****Научные статьи****Scientific articles**

Гравитационные и магнитные аномалии, порождаемые сдвиговыми структурами в верхней части земной коры <i>Н. П. Сенчина, А. Е. Асосков</i> 3	Gravitational and magnetic anomalies generated by strike-slip structures in the upper part of the earth's crust <i>N. P. Senchina, A. E. Asoskov</i> 3
Распределение рудообразующих элементов и минералов в объеме золоторудных объектов Западного Узбекистана <i>В. Д. Цой, С. С. Сайитов</i> 10	Distribution of ore-forming elements and minerals in gold objects of the Western Uzbekistan <i>V. D. Tsoy, S. S. Sayitov</i> 10
Электроакустические свойства различных типов кварца в мелкодисперсном состоянии <i>Л. Н. Котов, М. П. Ласёк, Фагин Донг, Чжан Вей</i> 26	Electroacoustic properties of various types of quartz in the finely dispersed state <i>L. N. Kotov, M. P. Lasyok, Faqin Dong, Zhang Wei</i> 26
Из архива профессора Д. П. Григорьева: письма Е. В. Цинзерлинг <i>Ю. Л. Войтеховский</i> 31	From Professor D. P. Grigoriev's archive: E. V. Zinserling's letters <i>Yu. L. Voytekhevsky</i> 31
Толбачинские алмазы (ТТИ-50, Камчатка): новое доказательство их вулканогенной природы <i>В. И. Силаев, Л. П. Аникин, Г. А. Карпов, А. Ф. Хазов</i> 37	Tolbachik diamonds (TFE-50, Kamchatka): new evidence of volcanogenic nature <i>V. I. Silaev, L. P. Anikin, G. A. Karpov, A. F. Khazov</i> 37

Хроника, события, факты. История науки**Chronicle, events, facts. History of Science**

«Перспективы освоения Тимано-Печорской нефтегазовой провинции и планы постановки региональных геологоразведочных работ» 42	«Prospects for the development of the Timan-Pechora petroliferous province and plans for set up of regional geological exploration» 42
Новые издания 42	New publications 42
	15 th ICAM First Circular 43

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Гравитационные и магнитные аномалии, порождаемые сдвиговыми структурами в верхней части земной коры

Н. П. Сенчина¹, А. Е. Асосков²

¹Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург; *Senchina_NP@pers.spmi.ru, arto221@mail.ru*

²Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А. П. Карпинского (ВСГЕИ), Санкт-Петербург

В работе рассмотрена задача компьютерного моделирования геофизических аномалий от структур, полученных путем аналогового физического моделирования сдвиговых деформаций. На основе результатов физического моделирования сдвигов (выполненного другими авторами) построена обобщенная петрофизическая модель, а затем решены прямые задачи гравиметрии и магниторазведки. Представлены особенности результирующих полей, которые могут помочь в интерпретации геофизических данных над структурами, где развиты сдвиговые нарушения, — это цепочки разнознаковых, вытянутых вдоль генерального разлома аномалий. Подтверждена применимость результатов экспериментальной геотектоники для цифрового моделирования геофизических аномалий и опробован соответствующий методический подход.

Ключевые слова: геофизика, тектоника, сдвиг, гравиразведка, магниторазведка, моделирование.

Gravitational and magnetic anomalies generated by strike-slip structures in the upper part of the earth's crust

N. P. Senchina¹, A. E. Asoskov²

¹St. Petersburg Mining University, Saint Petersburg,

²A. P. Karpinsky All-Russian Research Geological Institute (VSEGEI), St. Petersburg

The paper considers the geophysical anomalies computer modeling from the structures obtained by analog physical modeling of shear deformations. Based on the results of physical modeling of slip-strikes (performed by other authors), a generalized petrophysical model was built, and then direct tasks of gravity and magnetic surveys were solved. The features of the resulting fields are presented, which can help in the interpretation of geophysical data over structures where shear faults are developed — these are chains of anomalies of different signs extended along the general fault. The applicability of experimental geotectonics results for digital modeling of geophysical anomalies is confirmed and the corresponding methodological approach is tested.

Keywords: geophysics, tectonics, shear, gravity survey, magnetic survey, modeling.

Введение

Сдвиговые нарушения активно изучаются в России и за рубежом в связи с решением множества прикладных задач. Так, сдвиги интересны при поисках и разведке месторождений углеводородов (Тимурзиев, 2013; Данилова, 2020), так как формируют, кроме прочего, бассейны «пулл-апат» (pull-apart) — как правило, ромбовидные впадины размерами от малых ложбин до сотен километров. Строение рудных тел месторождений благородных металлов часто контролируется сдвигами (Данилова, 2020; Имаева и др., 2021b), так как возникающие сколы, трещины формируют пустотное пространство для рудоотложения в хорошо проницаемой флюидами зоне. Кроме того, сдвиги несомненно интересны с позиций общей геологии — при уточнении строения и эволюции территорий. При этом развитие сдвигов приводит к формированию и других разнообразных структур, хребтов «поп-ап» (pop-up), кулисных складок, структур типа «конский хвост» и других. Структуры отличаются в зависимости от развитости

сдвига, особенностей состава нарушенных и перекрывающих пород. Такое разнообразие усложняет интерпретацию при использовании как геофизических, так и геологических методов (Имаева и др., 2021a; Koukouvelas, Aydin, 2002). Тем не менее имеется успешный опыт выделения сдвиговых нарушений, в том числе по потенциальным полям.

Метод построения стартовой модели

На аномалии гравитационного и магнитного полей кроме структур, вызванных сдвиговым нарушением, влияет вещественный состав пород, причем его влияние может быть более значительным и очень разнообразным. В текущей задаче рассмотрим (для выделения чистого эффекта сдвига) развитие такого нарушения в породах постоянного состава и, соответственно, плотностных и магнитных свойств. Но и при этом вариантов сдвигов очень много, остановимся на обобщенной модели, опубликованной в 1985 году

Для цитирования: Сенчина Н. П., Асосков А. Е. Гравитационные и магнитные аномалии, порождаемые сдвиговыми структурами в верхней части земной коры // Вестник геонаук. 2023. 2(338). С. 3–9. DOI: 10.19110/geov.2023.2.1

For citation: Senchina N. P., Asoskov A. E. Gravitational and magnetic anomalies generated by strike-slip structures in the upper part of the earth's crust. Vestnik of Geosciences, 2023, 2(338), pp. 3–9, doi: 10.19110/geov.2023.2.1

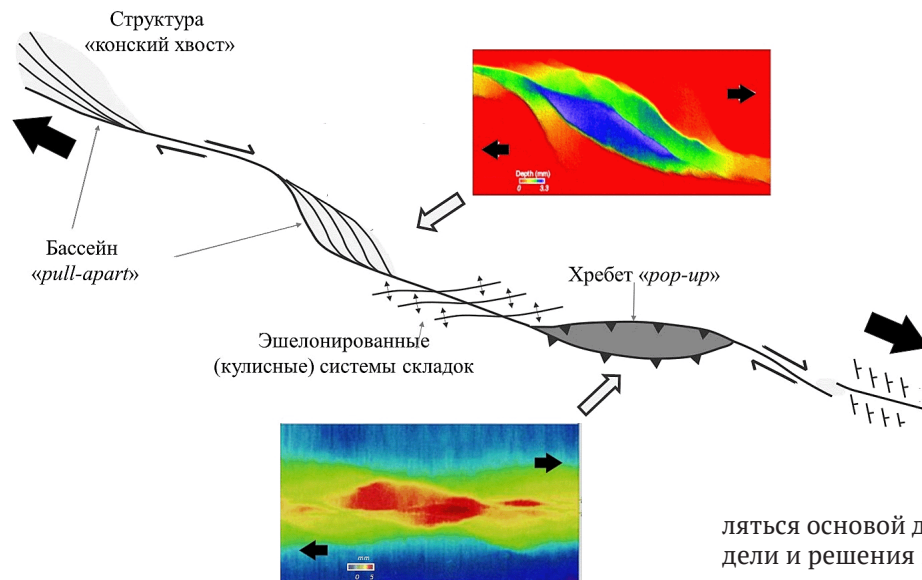


Рис. 1. Обобщенный вид модели и структуры-прототипы (по Christie-Blick и Biddle, 1985; Schellart et al., 2003; Mussofan, 2019)

Fig. 1. A generalized view of the model and prototype structure (according to Christie-Blick and Biddle, 1985; Schellart et al., 2003; Mussofan, 2019)

ляться основой для построения петрофизической модели и решения прямой задачи грави- и магниторазведки.

Петрофизическая модель и методика компьютерного моделирования

При развитии сдвигового нарушения вероятен случай, когда сдвиг закладывается в породах фундамента, формируется в древних осадочных породах и перекрыт молодыми, относительно менее плотными осадочными отложениями. Смоделируем это, предполагая, что уровень съемки находится на 300 метров выше измененной поверхности. Рассмотрим модель со свойствами:

- перекрывающих отложений: плотность 2400 кг/м³, магнитная восприимчивость 0.001 ед. СИ;
- пород, в которых развит сдвиг: плотность 2670 кг/м³, магнитная восприимчивость 0.021 ед. СИ.

Для магнитного поля были заданы склонение (0°), наклонение (75°) вектора намагничивающего поля, модуль вектора магнитной индукции — 51000 нТл; индуктивная намагниченность.

Решение прямой задачи грави- и магниторазведки выполнено в программном обеспечении Oasis Montaj (GM-SYS 3D). Моделирование предполагает создание

(Christie-Blick, Biddle, 1985) с некоторыми дополнениями; вид модели в плане представлен на рисунке 1. Типичные формы структур, образующихся при сдвигах, изучены многократно с помощью физического моделирования. На текущем этапе не будем учитывать изменение физических свойств в зоне развития сдвига. Используем примеры результатов лабораторного тектонофизического моделирования для построения петрофизической модели как источника количественных характеристик амплитуды структуры, длины и ширины. Модель бассейна «пулл-апарт» зададим исходя из работы Mussofan (2019). За основу модели хребта «поп-ап» выберем работу Schellart, Nieuwland (2003). Данные работы описывают сдвиг примерно в равных масштабах, со схожими смещениями и материалами. Идеально было бы использовать физическую модель, в которой сформированы все интересные элементы сдвига, однако этому посвятим следующий этап исследования.

Полученная при физическом моделировании «структурная карта» поверхности использована как основа для задания границы раздела для формирования трехмерной плотностной и магнитной моделей. Эта поверхность подвергнута воздействию сдвигового нарушения, в ней проявлены структура и глубина бассейна, форма и высота хребта, но в масштабе физической модели; для расчетной цифровой модели указанные параметры пропорционально увеличены. Общая протяженность сдвига по цифровой модели составляет 25 км. На рисунке 2 показана сформированная «структурная поверхность» в трехмерном виде. Данная поверхность будет яв-

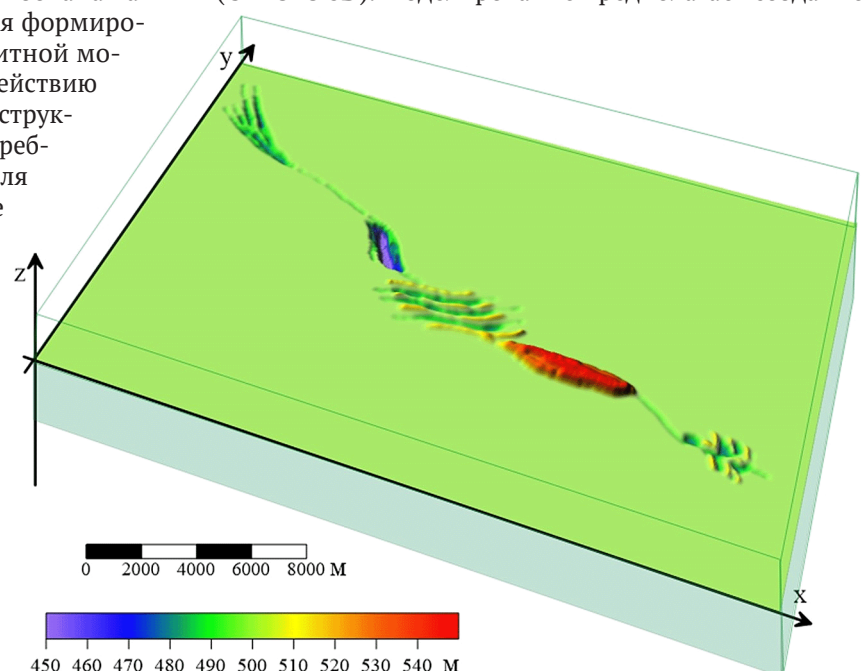


Рис. 2. Модель основной структурной поверхности, вид в объеме

Fig. 2. Primary structural surface model, 3D view



гипотетической геологической модели и решение прямой задачи с оценкой параметров физических полей. Для данных гравиметрии расчетным параметром является вертикальная составляющая напряженности гравитационного поля (ускорения свободного падения) в миллигалах, а для магнитного — приращение модуля вектора магнитной индукции (ΔT) в нанотеслах. Решение основано на быстром преобразовании Фурье и реализуется в короткие сроки даже для больших трехмерных моделей.

Результаты и обсуждение

В результате получены аномалии, показанные на рисунках 3 и 4. Положительные аномалии модельного гравитационного поля локализованы над хребтом,

отрицательные — над прогибами. Аномалии магнитного поля имеют немного более сложную конфигурацию ввиду биполярности аномалий аномалеобразующих тел. Биполярность магнитных аномалий предполагает двухполюсность источника и возможность получения в различных условиях положительной, отрицательной либо расположенных рядом положительной и отрицательной аномалий для одного и того же объекта. По результатам моделирования видно, что при заданных параметрах намагничивающего поля отрицательный полюс располагается севернее для возвышенностей в рельефе поверхности нижележащих пород и южнее для прогибов.

Рассмотрим полученные структуры в вертикальных сечениях через бассейн и через хребт (рис. 5, 6). Модельные структуры в разрезах представляют собой

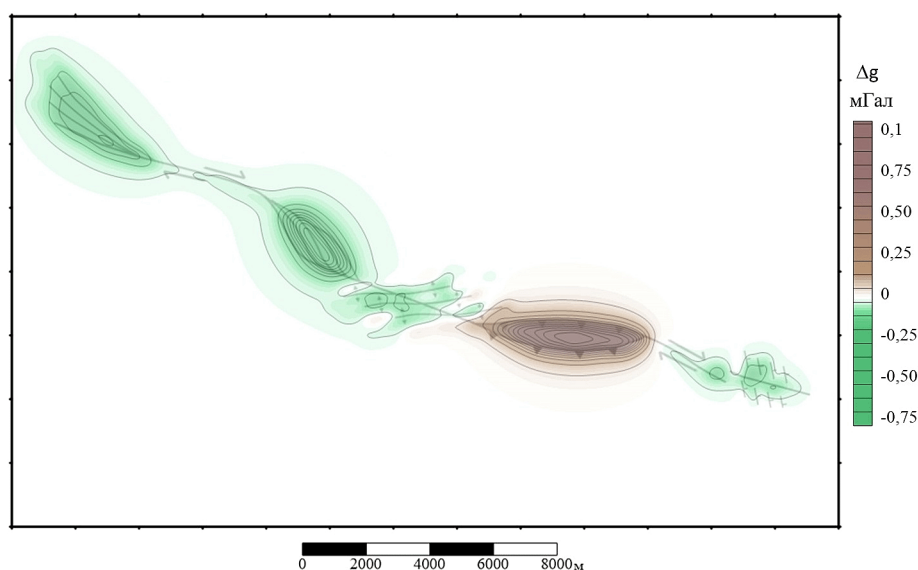


Рис. 3. Модельное гравитационное поле (вертикальная составляющая напряженности гравитационного поля (ускорения свободного падения) в миллигалах)

Fig. 3. Model gravitational field (vertical component of the gravitational field strength (gravitational acceleration) in milligals)

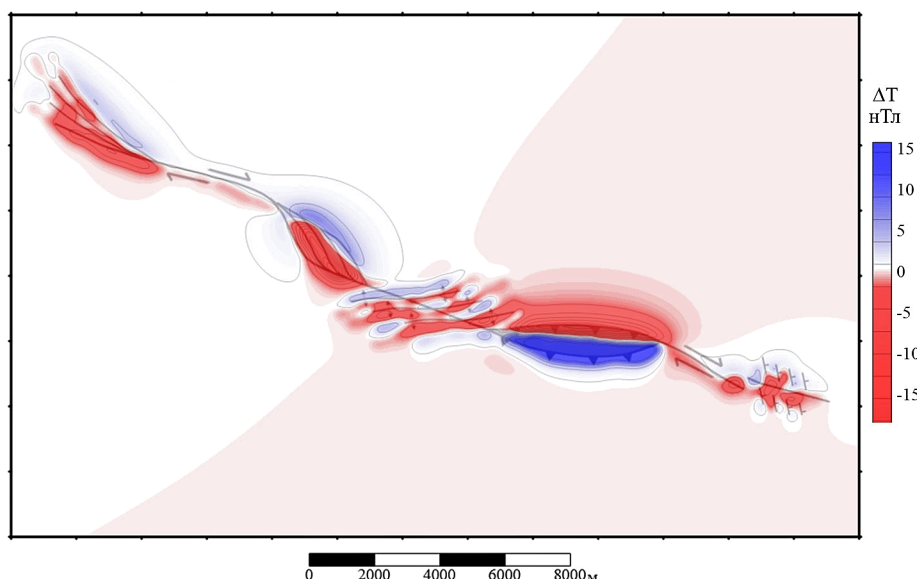


Рис. 4. Модельное магнитное поле (приращение модуля вектора магнитной индукции (ΔT) в нанотеслах)

Fig. 4. Model magnetic field (increment of the modulus of the magnetic induction vector (ΔT) in nanoteslas)

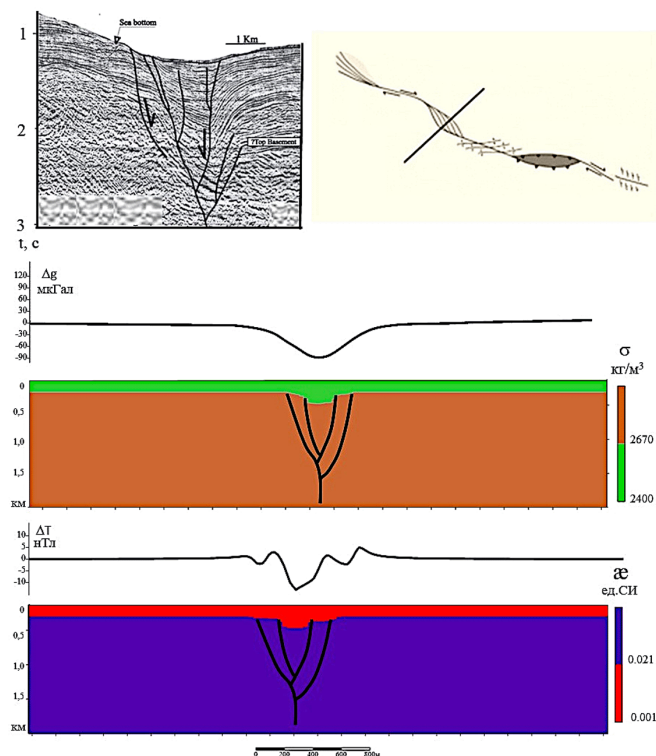


Рис. 5. Разрез синтезированной модели сдвига через бассейн «пулл-апарт» и пример реальной отрицательной структуры типа «цветок», зафиксированной на сейсмическом разрезе (Koukouvelas, Aydin, 2002)

Fig. 5. Section of the synthesized strike-slip model across the «pool-apart» basin and an example of the real negative flower structure recorded on the seismic section (Koukouvelas, Aydin, 2002)

упрощенную форму отрицательной и положительной цветковых структур — расщепляющихся от нижней к верхней части разреза разломов. Такие структуры выделяются и в разрезе физических моделей сдвигов (Фролова, 2019), и в реальных геофизических данных, в частности сейсмических (Данилова, 2020). Ширина цветковой структуры и ее конфигурация зависят в высокой степени от глубины расположения фундамента или глубины заложения основного шва (разлома), вдоль которого наблюдаются смещения, что показано многочисленными экспериментальными исследованиями (Фролова, Корбутяк, 2019; Каримова, 2021). Ширина полученных в текущей работе аномалий гравитационного и магнитного полей незначительно превышает поперечный размер структур, вызванных сдвиговой деформацией.

Полученные результаты позволяют ожидать проявления сдвиговых деформаций на картах гравитационного поля в форме цепочек аномалий разных знаков и амплитуды как проявления дуплексов сжатия и растяжения. Наиболее выраженные аномалии у амплитудных бассейнов и хребтов; аномалии складок менее проявлены. Для магнитного поля отмечаются разнознаковые аномалии в форме пар вытянутых сигмовидных кривых (S). Складки аномалии также имеют меньшую амплитуду, чем для бассейнов и хребтов. Сравнение карт полей друг с другом говорит о лучшей проявленности отдельных складок в магнитном

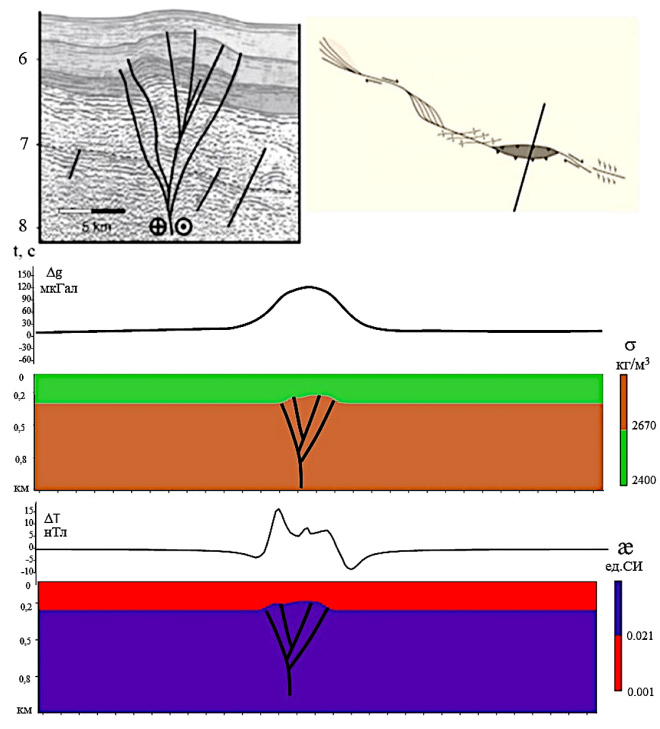


Рис. 6. Разрез синтезированной модели сдвига через хребет «поп-ап» и пример реальной положительной структуры типа «цветок», зафиксированной на сейсмическом разрезе (Le Guerroué, Cobbold, 2006)

Fig. 6. Section of the synthesized strike-slip model across the «pop-up» ridge and an example of the real positive structure of the «flower» type recorded on the seismic section (Le Guerroué, Cobbold, 2006)

поле, тогда как в гравитационном поле аномалии складки сливаются практически в единую структуру без заметного линейного характера аномалий. Сопоставление карты расчетного магнитного поля и положения заданных разрывных нарушений говорит о том, что делать напрямую линеаментный анализ можно с большой осторожностью из-за существенного смещения осей аномалий и градиентных зон.

Конечно, сдвиг должен проявляться и в нарушении корреляции аномалий, созданных особенностями вещественного состава и свойств пород, испытавших воздействие сдвигового нарушения. Величина смещения и характер поля индивидуальны — очень разнятся в зависимости от особенностей реальной геологической среды, но для примера покажем один из вариантов такого влияния (рис. 7, 8).

Пусть структуры фундамента до развития сдвига уже были неоднородны, имели линейные аномалии северо-восточного простирания. При развитии сдвига в зоне влияния последнего произошло изменение свойств — ослабление плотностных и магнитных характеристик, а также смещение оси аномалий до и после сдвига. В таком случае конфигурация поля становится более сложной: накладываются эффекты от сдвига и аномалии, вызванные разностью свойств пород, и соотношения аномалий различного происхождения может быть любым в зависимости от характеристики свойств пород, глубины расположения фундамента,

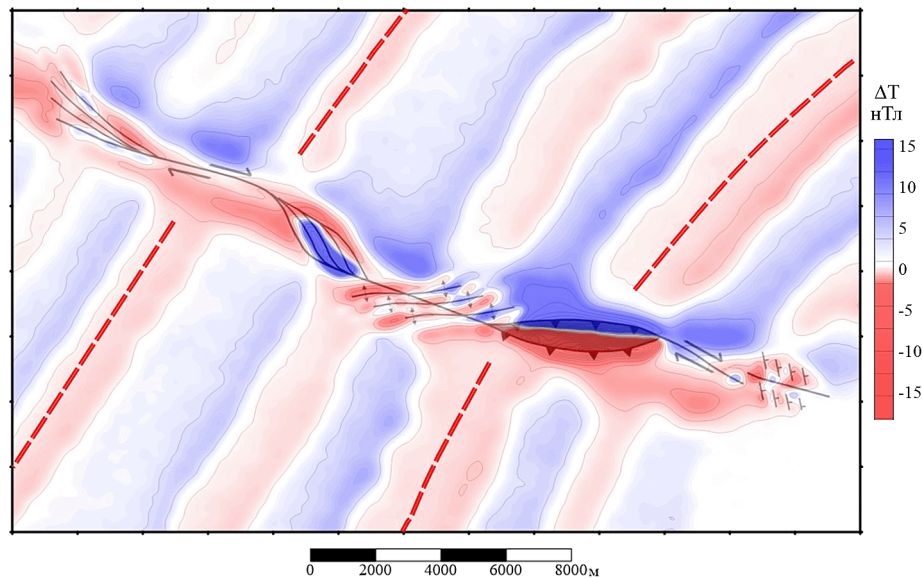


Рис. 7. Вариант модели магнитного поля, где аномалии от структур, образованных сдвигом, накладываются на аномалии, вызванные разностью свойств пород

Fig. 7. A variant of the magnetic field model where anomalies from strike-slip structures are superimposed on anomalies caused by the difference in rock properties

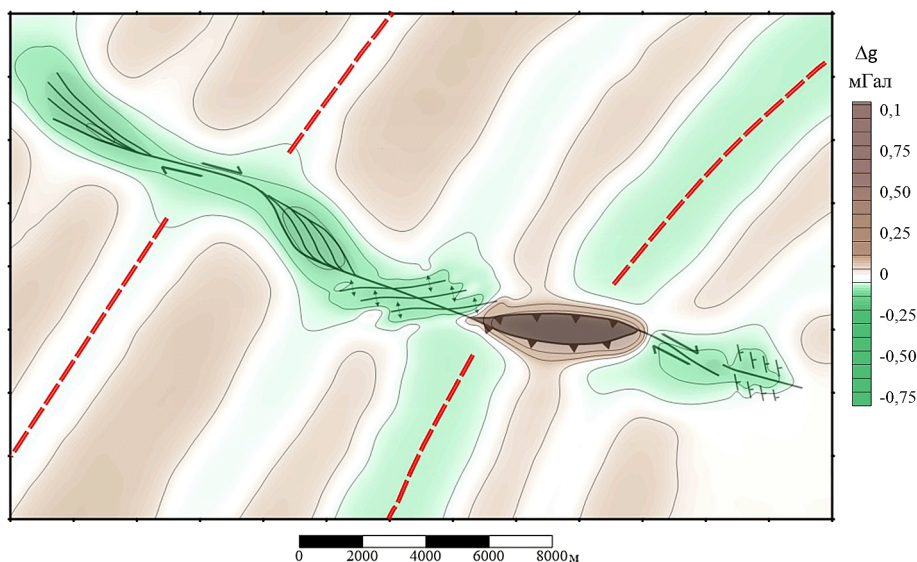


Рис. 8. Вариант модели гравитационного поля, где аномалии от структур, образованных сдвигом, накладываются на аномалии, вызванные разностью свойств пород

Fig. 8. A variant of the gravitational field model where anomalies from superimposed structures are superimposed on anomalies caused by the difference in rock properties

интенсивности развития дуплексных структур (хребтов и бассейнов в зоне сдвига), величины смещения по магистральному разлому.

Выводы

Практическим результатом проведенного «численного эксперимента» считаем возможность наблюдать проявление в потенциальных полях аномалий, связанных с деформациями, вызванными сдвиговыми нарушениями. Полученные карты позволяют выделить в гравитационном поле цепочки разнознаковых аномалий, в магнитном поле — сигмовидные по форме парные («+» и «-») аномалии. Амплитуды ано-

малий говорят о возможности их изучения с помощью современной аппаратуры — в основном это десятки микрогал в гравитационном поле, единицы нанотесел в магнитном поле. Конечно, аномалии, обусловленные влиянием вещественного состава вмещающих пород, осложняют идентификацию таких структур на практике, но по крайней мере теперь понятно, какие именно особенности сдвигов могут проявляться в данных потенциальных полях.

Основным принципиальным результатом работы считаем вывод о применимости результатов физического моделирования развития геологических структур для компьютерного моделирования геофизических полей. Вероятно, это может стать достовер-

ным инструментом для обоснования интерпретационных моделей таких сложных структур, как сдвиговые деформации. Рассмотренная в текущей работе модель является весьма общей, однако показывает адекватность результатов, хотя пока и достаточно грубых, но уже полезных, на взгляд авторов. Для интерпретации данных реально измеренных полей для территорий, где ожидается наличие сдвигов, можно порекомендовать комбинацию физического и компьютерного моделирования. Предполагается, что модель будет отражать гипотетические представления об изучаемой геологической среде (с учетом деформаций, вещественного состава, характеристик нормального поля), а результаты моделирования позволят подтвердить, отвергнуть или потребовать уточнений гипотезы о строении участка на основе сопоставления модельного и наблюдаемого полей. Такой подход не только может позволить подобрать оптимальную модель структур для интерпретации данных потенциальных полей, но и помочь в верификации результатов аналогового тектонофизического моделирования, результаты которого несут собственную высокую прикладную ценность (Чернецкий, Фролова, 2018; Фролова, 2019). Перспективным направлением видится взаимодействие между специалистами разных геологических наук, выполнение комплексных междисциплинарных исследований, в том числе на стыке экспериментальной тектонофизики и геофизики.

Литература / References

- Данилова Е. А. Присдвиговые цветковые структуры юго-запада Оренбургской области // Региональная геология и металлогения. 2020. № 82. С. 60–68.
- Danilova E. A. *Prisdvigovye cvetkovye struktury yugo-zapada Orenburgskoj oblasti* (Strike flower structures of the southwest of the Orenburg region). Regional geology and metallogeny, 2020, No. 82, pp. 60–68.
- Имаева Л. П., Маккей К. Г., Козьмин Б. М., Макаров А. А. Сейсмотектоническая реактивизация краевых шовных зон Сибирского кратона // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2021. Т. 26. № 2. С. 7–26. DOI: 10.31242/2618-9712-2021-26-2-1.
- Imaeva L. P., Makkej K. G., Koz'min B. M., Makarov A. A. *Sejsmotektonicheskaya reaktivizaciya kraevykh shovnykh zon Sibirskogo kratona* (Seismotectonic reactivation of the marginal suture zones of the Siberian Craton) // Regional geology and metallogeny, 2021, V. 26, No. 2. pp. 7–26.
- Имаева Л. П., Имаев В. С., Середкина А. И. Сейсмотектонические деформации активных сегментов зоны сопряжения Колымо-Омолонского супертеррейна и Южно-Ануйской сутуры, Северо-Восток России // Геотектоника. 2021. № 1. С. 232–240. DOI:10.31857/S0016853X21010069.
- Imaeva L. P., Imaev V. S., Seredkina A. I. *Sejsmotektonicheskie deformacii aktivnykh segmentov zony sopryazheniya Kolymo-Omolonskogo superterrejna i Yuzhno-Anyujskoj sutury, Severo-Vostok Rossii* (Seismotectonic deformations of active segments of the conjugation zone of the Kolyma-Omolon superterrane and the South Anyui suture, Northeast Russia). Geotectonics, 2021, No. 1, pp. 232–240.
- Каримова А. А., Борняков С. А., Пантелеев И. А. Основные закономерности развития разрывной структуры сдвиговых зон: по результатам физического моделирования // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: Тез. докл. Всерос. совещ., посвящ. пам. проф. С. И. Шермана. 2021. С. 118–119.
- Karimova A. A., Bornyakov S. A., Panteleev I. A. *Osnovnyye zakonomernosti razvitiya razryvnoy struktury sdvigovykh zon: po rezul'tatam fizicheskogo modelirovaniya* (The main regularities of the development of the discontinuous structure of shear zones: according to the results of physical modeling). Proc. of conference, 2021, pp. 118–119.
- Каримова А. А., Борняков С. А. Примеры сегментной активизации разломов в природных сдвиговых зонах // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXIX Всерос. молодеж. конф. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2021. С. 126–127.
- Karimova A. A., Bornyakov S. A. *Primery segmentnoy aktivizatsii razlomov v prirodnykh sdvigovykh zonakh* (Examples of segment activation of faults in natural shear zones). Structure of the Lithosphere and Geodynamics: Proceedings of the XXIX All-Russian Youth Conference. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust SB RAS, 2021, pp. 126–127.
- Метелкин Д. В., Верниковский В. А., Казанский А. Ю. Тектоническая эволюция Сибирского палеоконтинента от неопротерозоя до позднего мезозоя: палеомагнитная запись и реконструкции // Геология и геофизика. 2012. Т. 53. № 7. С. 883–899.
- Metelkin D. V., Vernikovskij V. A., Kazanskij A. Yu. *Tektonicheskaya evolyuciya Sibirskogo paleokontinenta ot neoproterozoya do pozdnego mezozoya: paleomagnitnaya zapis' i rekonstrukcii* (Tectonic Evolution of the Siberian Paleocontinent from the Neoproterozoic to the Late Mesozoic: Paleomagnetic Recording and Reconstructions). Geologiya i geofizika, 2012, V. 53, No. 7, pp. 883–899.
- Тимурзиев А. И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью). Часть 1 // Глубинная нефть. 2013. Т. 1. № 4. С. 561–605.
- Timurziev A. I. *Novejshaya sdvigovaya tektonika osadochnykh bassejnov: tektonofizicheskij i Flyuidodinamicheskij aspekty (v svyazi s neftegazonosnost'yu) chast' 1* (Recent strike-slip tectonics of sedimentary basins: tectonophysical and fluid dynamic aspects (in connection with oil and gas potential). Part 1. Glubinnaya neft'. 2013, V. 1, No. 4, pp. 561–605.
- Фролова Н. С., Кара Т. В., Читалин А. Ф., Чернецкий А. Г. Аналоговое моделирование сложных сдвиговых зон. Пример Баимской рудной зоны (Западная Чукотка) // Проблемы тектоники континентов и океанов: Материалы LI Тектонического совещания. 2019. С. 320–324.
- Frolova N. S., Kara T. V., Chitalin A. F., Cherneckij A. G. *Analogovoe modelirovanie slozhnykh sdvigovykh zon. Primer Baimskoj rudnoj zony* (Zapadnaya Chukotka) (Analog modeling of complex shear zones. An example of the Baim ore zone (Western Chukotka)). Problems of tectonics of continents and oceans: Proceedings of LI Tectonic Meeting, 2019, pp. 320–324.
- Фролова Н. С., Корбутяк А. Н. Значение моделирования для структурной интерпретации сейсмических данных: пример сдвиговых зон с чехлом большой мощности // Прикладные аспекты динамической геоло-



- гии: Материалы Всерос. науч. конф., посвящ. 110-й годовщине со дня рождения Г. П. Горшкова (1909—1984). 2019. С. 90—96.
- Frolova N. S., Korbutyak A. N. *Znachenie modelirovaniya dlya strukturnoy interpretatsii seismicheskikh dannykh: primer sdvigovykh zon s chekhlom bol'shoj moshchnosti* (The value of modeling for the structural interpretation of seismic data: an example of shear zones with a thick cover). Proc. of conference, 2019, pp. 90—96.
- Фролова Н. С., Кара Т. В., Читалин А. Ф. Физическое моделирование сдвиговых зон различной сложности для выявления участков повышенной флюидопроницаемости // Динамическая геология: Электронный научно-образовательный журнал. 2019. № 1. С. 29—47.
- Frolova N. S., Kara T. V., Chitalin A. F. *Fizicheskoe modelirovanie sdvigovykh zon razlichnoj slozhnosti dlya vyavleniya uchastkov povyshennoj flyuidopronicaemosti* (Physical modeling of shear zones of varying complexity to identify areas of increased fluid permeability). Dynamic geology. Electronic scientific and educational journal, 2019, No. 1, pp. 29—47.
- Фролова Н. С., Мишакина А. А., Корбутяк А. Н. Аналоговое моделирование структур, формирующихся на платформах при смене режима растяжения сдвиговым режимом // Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ: Тез. докл. Всерос. совещ., посвящ. пам. проф. С. И. Шермана. 2021. С. 139—140.
- Frolova N. S., Mishakina A. A., Korbutyak A. N. *Analogovoe modelirovanie struktur, formiruyushchih-sya na platformah pri smene rezhima rastyazheniya sdvigovym rezhimom* (Analog modeling of structures formed on platforms during a change in tension regime by shear regime). Proc. of conference, 2021, pp. 139—140.
- Чернецкий Г. А., Фролова Н. С. Аналоговое моделирование широких зон сдвига // Инновации в геологии, геофизике, географии — 2018: Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. 2018. С. 167—168.
- Cherneckij G. A., Frolova N. S. *Analogovoe modelirovanie shirokikh zon sdviga* (Analog modeling of wide shear zones). Innovations in Geology, Geophysics, Geography — 2018: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference, 2018, pp. 167—168.
- Christie-Blick, N. and Biddle, K. T. Deformation and Basin Formation along Strike-Slip Faults. In: Biddle, K. T. and Christie-Blick, N., Eds., *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 1985, V. 37, pp. 1—34. DOI:10.2110/pec.85.37.0001.
- Koukouvelas, I. K., and Aydin, A., Fault structure and related basins of the North Aegean Sea and its surroundings, *Tectonics*, 2002, 21 (5), 1046 p. DOI: 10.1029/2001TC901037.
- Le Guerroué, Erwan & Cobbold, Peter. Influence of erosion and sedimentation on strike-slip fault systems: Insights from analogue models. *Journal of Structural Geology*, 2006, 28. DOI:10.1016/j.jsg.2005.11.007.
- Mussofan, W. Thick silicic volcanic sequences at Muara Laboh and Rantau Dedap geothermal fields, Sumatra, Indonesia: implications for reservoir architecture and permeability. *Proceedings of the 41st New Zealand Geothermal Workshop*, 2019.
- Schellart, Wouter & Nieuwland, Dirk. (2003). 3D evolution of a pop-up structure above a double basement strike-slip fault: Some insights from analogue modelling. *Geological Society, London, Special Publications*, 212, pp. 169—179. DOI:10.1144/GSL.SP.2003.212.01.11.

Received / Поступила в редакцию 07.11.2022



Распределение рудообразующих элементов и минералов в объеме золоторудных объектов Западного Узбекистана

В. Д. Цой, С. С. Сайитов

Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан; vtsoi@nbox.ru

Проанализированы минералого-геохимические свойства золоторудных месторождений Западного Узбекистана, характеризующихся многостадийностью и неоднородным строением по разрезу. В качестве критериев оценки месторождений использованы системы значений кларков концентрации (КК) рудообразующих элементов. Определены особенности распределения КК по грациям глубин и на этом основании оценены перспективы на золото глубоких горизонтов месторождений.

Ключевые слова: Узбекистан, золоторудные месторождения, распределение, минералого-геохимическая характеристика, оценка промышленных перспектив.

Distribution of ore-forming elements and minerals in gold objects of the Western Uzbekistan

V. D. Tsoy, S. S. Sayitov

Scientific Research Institute of Mineral Resources, Tashkent, Uzbekistan

We have analyzed the mineralogical and geochemical properties of gold ore deposits in the Western Uzbekistan, characterized by multi-stage and heterogeneous structure along the section. The systems of clark values for the concentration of ore-forming elements were used as criteria for assessing deposits. The features of CC distribution by depth gradations are determined and, on this basis, the prospects for gold in deep horizons of deposits are estimated.

Keywords: Uzbekistan, gold deposits, distribution, mineralogical and geochemical characteristics, assessment of industrial prospects.

Введение

Оценка рудных месторождений Западного Узбекистана в значительной степени зависит от определения перспектив их глубоких горизонтов. Для этого по материалам опробования канав, траншей и скважин было проанализировано пространственное распределение рудообразующих минералов и элементов. В статье приводятся результаты изучения четырех объектов — Джасаул, Янги-Давон, Тамдыбулак и Древний, локализованных в палеозойских толщах.

Методы исследования

В процессе исследований проводились документация рудоносных зон с отбором проб на различные анализы: описание шлифов, аншлифов; аналитическая сканирующая электронная микроскопия; рентгеновская дифрактометрия; минераграфический анализ для определения последовательности гипогенного минералообразования; выявление вертикальной зональности; определение перспектив объектов. Для выявления вертикальной зональности была разработана специальная методика, которую на примере участка Джасаул можно охарактеризовать следующим образом.

1. На рассматриваемом участке палеозойский фундамент перекрыт чехлом мезо-кайнозойских отложений. По данным бурения глубина погружения палеозойской толщи варьируется от 27 до более 280 м. В результате изучения руд, минерализованных и рудовме-

щающих пород, отобранных по скважинам, составлена следующая грация опробованных глубин: 27—80 м (40 проб); 80—130 м (78 проб); 130—180 м (27 проб); 180—230 м (24 проб); 230—280 м (29 проб); более 280 м (6 проб).

2. Содержания основных и попутных компонентов определялись спектральным анализом с просыпкой в лаборатории ГУ «ИМР» Госкомгеологии РУз. По результатам анализа для каждой грации глубин подсчитаны средние содержания рудогенных элементов, которые были нормированы на их кларк в земной коре (по А. П. Виноградову). На основе кларков концентрации (КК) были выведены геохимические последовательности убывания содержаний продуктивных элементов.

3. Выведенные геохимические последовательности сопоставлялись с типовой схемой зональности гипогенного минералообразования на территории Узбекистана.

4. На основании данных о характере пространственного распределения рудообразующих элементов и минералов в объеме разведываемых золоторудных объектов проведена оценка промышленных перспектив глубоких горизонтов.

Обсуждение результатов

Участок Джасаул расположен в горах Бельтау. Рудоносные зоны приурочены к местам интенсивного

Для цитирования: Цой В. Д., Сайитов С. С. Распределение рудообразующих элементов и минералов в объеме золоторудных объектов Западного Узбекистана // Вестник геонаук. 2023. 2(338). С. 10—25. DOI: 10.19110/geov.2023.2.2

For citation: Tsoy V. D., Sayitov S. S. Distribution of ore-forming elements and minerals in gold objects of the Western Uzbekistan. Vestnik of Geosciences, 2023, 2(338), pp. 10—25, doi: 10.19110/geov.2023.2.2

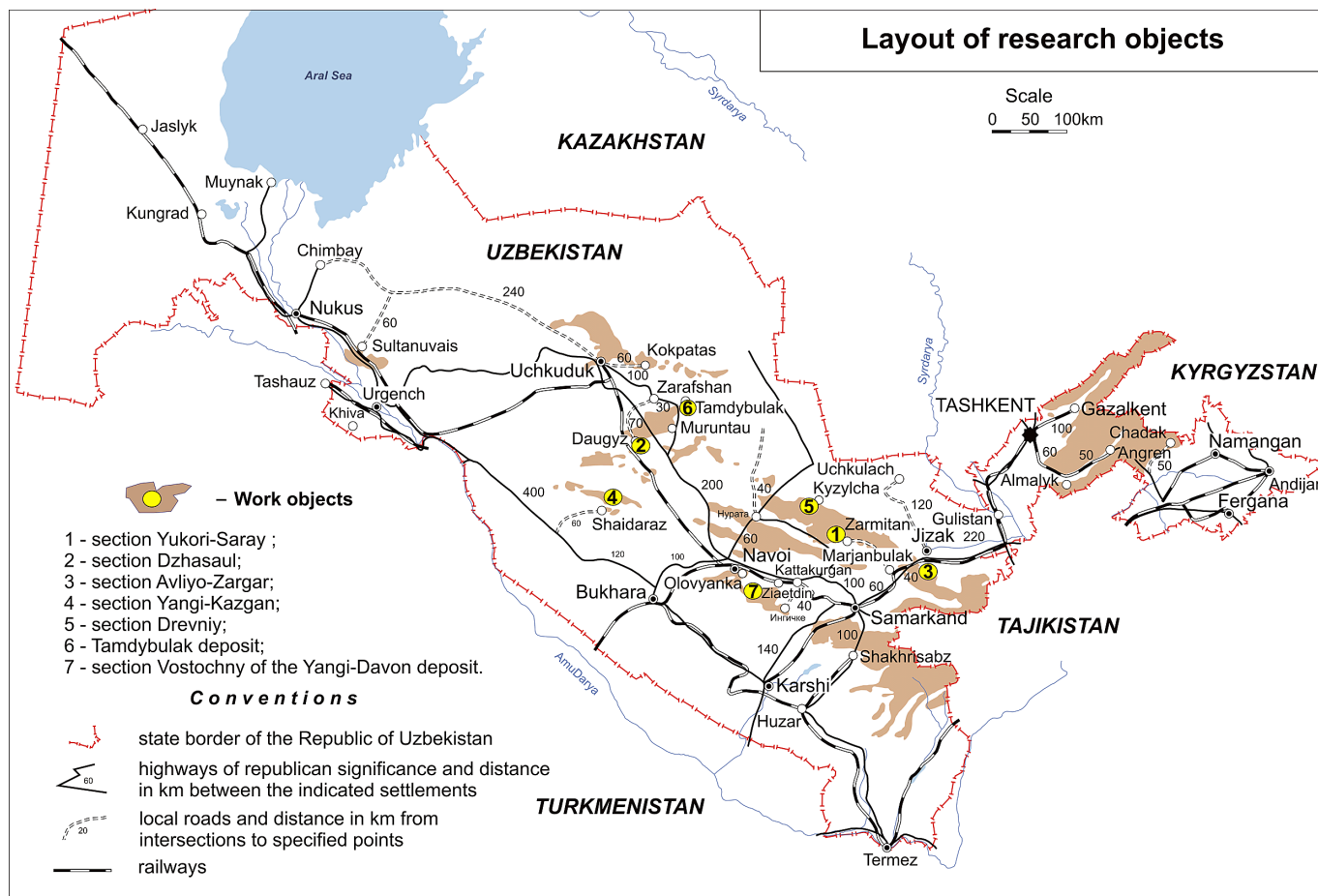


Рис. 1. Обзорная карта расположения объектов исследований

Fig. 1. General map of the location of research objects

дробления и смятия в отложениях рохатской (O_{1-2} rh) и мурунской (O_3) свит, находящихся под мезокайнозойским чехлом мощностью 55–70 м. Содержание золота в них колеблется от 1.1 до 22.5 г/т, а серебра — от 0.9 до 1225 г/т.

В табл. 1 приведены значения КК рудообразующих элементов на различных глубинах. Геохимические ряды, выведенные по убыванию значений КК, показаны в табл. 2, 3. Они иллюстрируют закономерности распределения золото-пирит-арсенопиритовой, золотосеребряной, альбит-шеелитовой и галенит-блеклорудной продуктивных минерализаций. Выявленные и охарактеризованные минеральные парагенезисы на изученном участке вполне согласуются с ранее полученными результатами комплексных минералогических исследований (Алимов и др., 2016а, 2016б; Королёва и др., 2018; Мурунтау, 1998; Цой, 1998; Цой и др., 2011, 2014, 2016, 2018, 2021, 2022; Tsoy, 2016).

Участки Джасаул, Янги-Давон, Тамдыбулак, Древний были по минералого-геохимическим свойствам сопоставлены с эталонными объектами, сходными по геолого-промышленному типу: Мурунтау, Аджибугут, Каракутан, Пистали, Таушан, Балпантау (табл. 4). В составе главных рудных минералов на всех исследованных нами участках в значительной концентрации присутствуют самородное золото, пирит и арсенопирит, объединяющиеся в единую золото-пирит-арсенопиритовую парагенетическую ассоциацию. Последняя характерна для золотокварцевого геолого-промышленного типа рудных месторождений. Исключением

из этого ряда является участок Джасаул, где кроме золото-пирит-арсенопиритовой присутствует сульфосольно-серебряная минерализация. В целом этот участок можно отнести к золотосеребряному объекту. На участке Древний в отдельных пробах также отмечается серебряная минерализация.

Рассмотрим выявленные минеральные ассоциации изученных участков, их положение в схеме гипогенного минералообразования, разработанной для эталонных объектов (табл. 3, 4).

Рудные минеральные ассоциации начинаются с ранней *оксидной стадии* образования магнетит-гематитовой ассоциации, которая проявлена на всех участках и эталонных золоторудных объектах. Далее идет *стадия вольфрамов* с альбит-шеелитовой ассоциацией, которая проявилась на участке Древнем и эталонных золоторудных объектах. Последующая *ранне-сульфидная стадия* представлена кварц-молибденитовой, халькопирит-пирротиновой, золото-пирит-арсенопиритовой и халькопирит-висмутовой ассоциациями. Признаки кварц-молибденитовой ассоциации на исследованных участках не обнаружены, халькопирит-пирротиновая ассоциация выявлена повсеместно. Золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация является наиболее продуктивной на всех участках и эталонных объектах. Халькопирит-висмутовая ассоциация отмечается только на участке Древний и эталонном месторождении Мурунтау. *Полиметаллическая стадия*, характерная для всех изученных участков и эталонных объектов, представлена сфалерит-халькопирит-

Таблица 1. Кларки концентраций рудообразующих элементов на различных глубинах участка Джасаул

Table 1. Clarke concentrations of ore-forming elements at different depths of the Jasaul area

Глубина, м Depth, m	Ba	Be	V	W	Ga	Ge	Cd	Co	Mn	Cu	Mo	As	Ni	Sn	Pb	Ag	Sb	Ti	Cr	Zn	Au	Nb	Li
27—80 40 проб / 40 samples	0.62	0.43	2.51	12.05	1.31	0.90	3.85	1.11	1.01	0.62	4.47	770.0	0.14	1.41	2.43	124.29	115.79	0.87	0.91	0.7	87.66	0.74	1.44
80—130 78 проб / 78 samples	0.41	0.50	2.93	21.76	1.42	2.30	3.85	1.31	0.81	0.73	2.56	2041.43	0.06	1.46	5.29	526.47	136.57	1,0	2.0	1.65	356.27	0.48	1.33
130—180 27 проб / 27 samples	0.28	0.47	2.,44	16.0	1.30	1.57	3.85	0.99	0.86	0.47	1.62	1398.66	0.07	1.26	3.08	107.33	135.20	0.92	1.86	1.34	172.63	0.45	1.20
180—230 24 проб / 24 samples	0.53	0.46	2.,37	19.17	1.47	1.46	3.85	1.35	1.0	0.43	2.09	2779.41	0.06	1.27	3.70	234.66	59.17	0.99	1.23	1.17	227.23	0.60	1.07
230—280 26 проб / 26 samples	0.39	0.38	2.22	23.40	1.28	1.33	3.85	1.05	1.21	0.40	1.99	1152.94	0.05	1.2	3.41	345.17	62.07	0.94	0.99	0.99	396.95	0.48	0.88
> 280 6 проб / 6 samples	0.17	0.39	2.13	24.36	0.92	1.01	3.85	0.55	1.03	0.44	1.36	2737.25	0.05	1.2	2.19	87.38	50.00	1.11	2.19	0.98	670.54	0.68	0.76

Таблица 2. Ряды убывания значений КК по градациям глубин участка Джасаул

Table 2. Decreasing series of CC values by depth gradations of the Jasaul area

Горизонты Horizons	Геохимические ряды Geochemical series
27—80 м	As > Ag > Sb > Au > W > Mo
80—130 м	As > Ag > Au > Sb > W > Pb > Mo
130—180 м	As > Au > Sb > Ag > W > Pb
180—230 м	As > Ag > Au > Sb > W > Cd > Pb > Mo
230—280 м	As > Au > Ag > Sb > W > Cd > Pb
> 280 м	As > Au > Ag > Sb > W > Cd > Pb



Таблица 3. Сводная схема гипогенного минералообразования в рудных месторождениях Узбекистана
Table 3. Summary scheme of hypogene mineral formation in ore deposits of Uzbekistan

Этапы Stages	Стадии Phase	Минеральные ассоциации Mineral associations	Типоморфные минералы (продуктивные выделены шрифтом) Typomorphic minerals (productive ones are in bold)	Объекты Objects
Гидротермальный Hydrothermal	Карбонатно-силикатная Carbonate-silicate	Карбонат-кварцевая Carbonate-quartz	Кварц, кальцит Quartz, calcite	1—8
	Карбонатно-фторидная Carbonate-fluoride	Кварц-кальцит-барит-флюоритовая Quartz-calcite-barite-fluorite	Кальцит, кварц, барит, флюорит, целестин Calcite, quartz, barite, fluorite, celestite	1—8
	Сурьмяная Antimony	Кварц-стибнитовая Quartz-stibnite	Кварц, стибнит , сурьма самородная, кальцит, киноварь Quartz, stibnite , native antimony, calcite, cinnabar	1, 3, 6, 8
	Сульфатная Sulfate	Кварц-барит-галенитовая Quartz-barite-galena	Галенит, барит, целестин, халькопирит, кварц, кальцит Galena, barite, celestite, chalcopryrite, quartz, calcite	1—5, 7, 8
	Позднеоксидная Late oxide	Кварц-гематитовая Quartz-hematite	Кварц, гематит , кальцит, хлорит Quartz, hematite , calcite, chlorite	1—8
	Золотосеребряная Gold-silver	Собственно серебряная Proper silver	Серебро самородное , пираргирит, хлораргирит, полибазит , аргентит , манганкальцит, халькопирит, блеклая руда Native silver , pyrrargyrite, chlorargyrite, manganalcite, chalcopryrite, fahlore	1, 3, 4, 6—8
		Золотосеребряная Gold-silver	Золото , борнит , халькозин , кюстелит, халькопирит , кварц, кальцит, электрум Gold , bornite , chalcocine , kustelite, chalcopryrite, quartz, calcite, electrum	1, 3, 4, 7, 8
		Золотогесситовая Gold-hessite	Золото , гессит , калаверит , алтаит , сильванит , петцит Gold , hessite , calaverite , altaite , sylvanite , petzite	1, 6—8
		Тетрадимит-теллуровисмутитовая Tetradymite-tellurobismuthite	Тетрадимит , теллуровисмутит , халькопирит, жозеит, бурнонит, джемсонит Tetradymite , tellurobismuthite , chalcopryrite, joseite, bournonite, jamsonite	1
	Полиметаллическая Polymetallic	Галенит-блеклорудная Galena-fahlore	Галенит , блеклая руда , сфалерит , кварц, кальцит Galena , fahlore , sphalerite , quartz, calcite	1, 3—6, 8
		Сфалерит-халькопирит-галенитовая Sphalerite-chalcopryrite-galena	Сфалерит , халькопирит , галенит , кальцит, хлорит Sphalerite , chalcopryrite , galena , calcite, chlorite	1—8
	Раннесульфидная Early sulfide	Халькопирит-висмутовая chalcopryrite-bismuth	Халькопирит , висмутин , виттихенит, эмплектит, борнит , висмут самородный , гладит , бенжаминит Chalcopryrite , bismuthine , wittikhenite, emplectite, bornite , native bismuth , ironite, benjaminite	1, 3, 8
		Золото-пирит-арсенопиритовая Gold-pyrite-arsenopyrite	Кварц, пирит , арсенопирит , золото, кобальтин, энаргит, леллингит Quartz, pyrite , arsenopyrite , gold, cobaltite, enargite, lellingite	1—8
		Халькопирит-пирротиновая Chalcopryrite-pyrrhotite	Пирротин , халькопирит , марказит Pyrrhotite , chalcopryrite , marcasite	1—8
		Кварц-молибденитовая Quartz-molybdenite	Кварц, молибденит , пирит, шеелит, халькопирит Quartz, molybdenite , pyrite, scheelite, chalcopryrite	нет none



Этапы Stages	Стадии Phase	Минеральные ассоциации Mineral associations	Типоморфные минералы (продуктивные выделены шрифтом) Typomorphic minerals (productive ones are in bold)	Объекты Objects
Гидротермальный Hydrothermal	Вольфрамовая Tungsten	Альбит-шеелитовая Albite-scheelite	Кварц, альбит, шеелит, мусковит, кальцит Quartz, albite, scheelite, muscovite, calcite	1, 4, 6, 7
	Раннеоксидная Early oxide	Магнетит-гематитовая Magnetite-hematite	Гематит, магнетит, пирит , эпидот, серпентин Hematite, magnetite, pyrite , epidote, serpentine	1—8
	Силикатно-карбонатная Silicate-carbonate	Карбонат-кварц-хлоритовая Carbonate-quartz-chlorite	Кварц, хлорит, гематит, пирит Quartz, chlorite, hematite, pyrite	1—8
Пневмато-гидротермальный Pneumatic-hydrothermal	Водных силикатов Hydrous silicates	Кварц-серицитовая Quartz-sericite	Кварц, мусковит, касситерит, олово самородное Quartz, muscovite, cassiterite, native tin	1—8
		Кварц-турмалиновая Quartz-tourmaline	Кварц, турмалин Quartz, tourmaline	1, 2, 4, 5
		Эпидот-амфиболовая Epidote-amphibole	Эпидот, актинолит, тремолит, ортоклаз Epidote, actinolite, tremolite, orthoclase	1—7
	Безводных силикатов Anhydrous silicates	Волластонит-родонитовая Wollastonite-rhodonite	Бустамит, родонит, волластонит Bustamite, rhodonite, wollastonite	8
		Гранат-пироксеновая Garnet-pyroxene	Пироксен, гранат, магнетит Pyroxene, garnet, magnetite	1, 2, 4, 8

Примечание. Месторождения, участки: 1 — Мурунтау, 2 — Тамдыбулак, 3 — Джасаул, 4 — Аджибугут, 5 — Янги-Давон, 6 — Каракутан (Тилля-таг), 7 — Древний, 8 — Нукракон.

Note. Deposits, areas: 1 — Muruntau, 2 — Tamdybulak, 3 — Dzhasaul, 4 — Adzhibugut, 5 — Yangi-Davon, 6 — Karakutan (Tilla-tag), 7 — Drevny, 8 — Nukrakon.

галенитовой и галенит-блеклорудной ассоциациями. К золотосеребряной стадии отнесены тетрадимит-теллуросмугитовая (на эталонных Мурунтау, Каракутан), золотогесситовая (на участке Древний), золотосеребряная (на участках Джасаул, Древний) и собственно серебряная (на участках Джасаул, Древний) ассоциации. Поздняя оксидная стадия с кварц-гематитовой ассоциацией и сульфатная стадия с кварц-барит-галенитовой ассоциацией отмечены на всех участках. Сурьмяная стадия с кварц-антимонитовой ассоциацией проявлена на участке Джасаул и эталонных месторождениях Мурунтау и Каракутан. Карбонатно-фторидная стадия с кварц-кальцит-барит-флюоритовой ассоциацией проявилась фрагментарно в виде барита на изученных участках и в виде флюорита на месторождении Аджибугут.

Анализ распределения КК золота участка Джасаул показал наличие двух максимумов (пиков) на глубине 280—330 и 80—130 м. Первый пик связан с проявлением ранней золото-пирит-арсенопиритовой ассоциации, второй пик концентрации золота обусловлен золотосеребряной стадией с золотогесситовой, золотосеребряной и собственно серебряной парагенетической минеральной ассоциации (ПМА). Для серебра также установлены два пика КК. Более слабый первый пик связан с ранними парагенетическими минеральными ассоциациями. Второй пик соответствует более поздней золотосеребряной и собственно серебряной минеральной ассоциациям, образовавшимся на золото-серебряной стадии. По данным минералогических исследований установлено широкое распространение сульфогаленитов серебра, реже антимонита. С глубиной кларк концентрации сурьмы резко уменьшается

ся, так как сурьма — характерный элемент именно верхних рудных срезов.

Корреляционный анализ содержаний элементов также показал сильные взаимосвязи между содержаниями золота, вольфрама и мышьяка.

Высокие положительные коэффициенты корреляции между содержаниями золота и вольфрама объясняются связью этих элементов с более ранними парагенетическими минеральными ассоциациями: золото-пирит-арсенопиритовой и альбит-шеелитовой.

Кларки концентраций золота и серебра взаимозависимы друг от друга. Но на глубине более 280 м показатель кларка концентрации серебра резко уменьшается, а для золота отмечается резкое повышение кларка концентрации. Это объясняется тем, что серебро связано с более поздними золотосеребряной и собственно серебряной ассоциациями, а золото — с ранней пирит-арсенопиритовой.

В целом на участке Джасаул рудообразующие элементы геохимического ряда располагаются в соответствии со стадийностью гипогенного минералообразования, осложняясь местами минеральным телескопированием.

Месторождение Янги-Давон и его участок **Восточный** расположены вZIAтдинском рудном поле, которое сложено метаморфизованными эффузивно-терригенными отложениями катармайской свиты. В отложения последней внедрены мелкие штоки, дайки магматических пород среднего и кислого состава. Непосредственно на месторождении Янги-Давон закартированы отложения третьей и четвертой подсвит. Эффузивно-терригенные отложения третьей подсвиты

Таблица 4. Сравнительная минералого-геохимическая характеристика изученных участков и эталонных месторождений
Table 4. Comparative mineralogical and geochemical characteristics of the studied areas and reference deposits

Объекты Objects	Рудовмещающие породы Host rocks	Геологический тип Geological industrial type	Первичные рудные минералы / Primary ore minerals		Гипергенные минералы Hypergene minerals	Ценные компоненты Valuable components	
			Основные Main	Второстепенные Secondary		Основные Main	Полутные Associated
Джасаул (Бельтау) Dzhasaul (Beltau)	Метатерригенные породы (углеродистые песчаники, алевриты, сланцы) Metaterigenous rocks (carbonaceous sandstones, siltstones, shales)	Золотосеребряный Gold-silver	Пирит, арсенопирит, золото, кюстелит, серебро, сульфосоли серебра (полиаргирит, буланжерит, тетраэдрит, полибазит) Pyrite, arsenopyrite, gold, kustelite, silver, silver sulfosalts (polyargyrite, boulangerite, tetrahedrite, polybasite)	Галенит, науманнит, клаусталит, сфалерит, халькопирит, магнетит, марказит, тетраэдрит, пирротин, кубанит, антимонит, ильменит, фрейслебениит, магнетит, диафорит, рутил Galena, naumannite, cloustalite, sphalerite, chalcopryrite, magnetite, marcasite, tetrahedrite, pyrrhotite, cubanite, antimonite, ilmenite, freislebenite, magnetite, diaphorite, rutile Халькопирит, пирротин, марказит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, антимонит, науманнит, гессит, рутил, стефанит, ковеллин, халькозин, борнит, штромейерит, магнетит, халькостибит, андорит, аргентопирит, касситерит, ильменит, анагиз и др. Chalcopryrite, pyrrhotite, marcasite, sphalerite, galena, tetrahedrite, antimonite, naumannite, hessite, rutile, stephanite, covellite, chalcocite, bornite, stromeyerite, magnetite, chalcostibite, andorite, argentopyrite, cassiterite, ilmenite, anatase, etc.	Гетит, гидрогетит, скородит, гематит, халькозин, ковеллин Goethite, hydrogoethite, scorodite, hematite, chalcocite, covellite	Ag, Au	Se, Te, Sb
Нукракон (Бельтау) Nukrakon (Beltau)	— // —	— // —	Пирит, арсенопирит, акантит, полибазит, миаргирит, пираргирит, фрейбергит, серебро, золото, электрум Pyrite, arsenopyrite, acanthite, polybasite, miargyrite, pyragyrite, freibergite, silver, gold, electrum	Халькопирит, пирротин, марказит, сфалерит, галенит, тетраэдрит, антимонит, науманнит, гессит, рутил, стефанит, ковеллин, халькозин, борнит, штромейерит, магнетит, халькостибит, андорит, аргентопирит, касситерит, ильменит, анагиз и др. Chalcopryrite, pyrrhotite, marcasite, sphalerite, galena, tetrahedrite, antimonite, naumannite, hessite, rutile, stephanite, covellite, chalcocite, bornite, stromeyerite, magnetite, chalcostibite, andorite, argentopyrite, cassiterite, ilmenite, anatase, etc.	Гетит, гидрогетит, сурик, иод-аргирит, цинкениит, гидроксаманит, мелантерит, миметезит, тунгстит, бирюза, гидротальцит, гематит, брусит Goethite, hydrogoethite, minium, iodine-argyrite, zincenite, hydroxymangite, melanterite, mimetезite, tungstite, turquoise, hydrotalcite, hematite, brucite	Ag, Au	Se, Te, S, Sb
Древний (Северный) Нуратау) Drevny (Northern Nuratau)	Терригенно-осадочные породы: кварц-слюдистые, слюдиисто-кварцевые и углеродистые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники Terrigenous-sedimentary rocks: quartz-micaceous, siliceous-quartz shales, metasilicaceous, metasandstones	Убого и мало-сульфидный золото-кварц-сульфидный Poorly low-sulfide gold-quartz-sulfide	Пирит, арсенопирит, золото самородное, электрум, серебро Pyrite, arsenopyrite, native gold, electrum, silver	Пирротин, марказит, галенит, сфалерит, халькопирит, борнит, медь, фрейбергит, стефанит, акантит, миаргирит, гессит, полибазит, штромейерит, андорит, молибденит, блеклая руда, пирролизит, вольфрамит, ильменит, рутил, шеелит Pyrrhotite, marcasite, galena, sphalerite, chalcopryrite, bornite, copper, freibergite, stephanite, acanthite, miargyrite, hessite, polybasite, stromeyerite, andorite, molybdenite, fahlore, pyrolusite, wolframite, ilmenite, rutile, scheelite	Гетит, лимонит (охры), скородит, ярозит, глинистые минералы, кераргирит, бромирит, ковеллин, халькозин, медная зелень, повеллит, гематит, псиломелан, массикот Goethite, limonite (ocher), scorodite, jarosite, clay minerals, kerargyrite, bromyrite, cowellite, chalcocine, copper green, powellite, hematite, psilomelane, massikot	Ау, Аг	Se, Te

Продолжение таблицы 4 / Continuation of table 4

Объекты Objects	Рудовмещающие породы Host rocks	Геолого-промышленный тип Geological industrial type	Первичные рудные минералы / Primary ore minerals		Гипергенные минералы Hypergene minerals	Ценные компоненты Valuable components	
			Основные Main	Второстепенные Secondary		Основные Main	Попутные Associated
Пистали (Северный Нуратау) Pistali (Northern Nuratau)	Осадочно-метаморфизованные породы: слюдито-кварцевые и мусковит-серпентиновые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники, кварциты Sedimentary-metamorphosed rocks: mica-quartz schists, metasiltstones, metasandstones, quartzites	— // —	Пирит, марказит, мельниковит-пирит, арсенопирит, золотое самородное Pyrite, marcasite, melnikovite-pyrite, arsenopyrite, native gold	Халькопирит, галенит, пирротин, марказит, рутил Chalcopyrite, galena, pyrrhotite, marcasite, rutile	Гетит, лимонит, скородит, гематит, ковеллин, халькозин, кераргирит Goethite, limonite, scorodite, hematite, covellite, chalcocite, kerargyrite	Au, Ag	не опр. n/d
Восточный Янги-Давон (Зиаэтдин) East Yangi-Davon (Ziaetdin)	Вулканогенно-терригенные образования Volcanic-terrigenous formations	— // —	Золото, пирит, арсенопирит Gold, pyrite, arsenopyrite	Халькопирит, блеклая руда, галенит, сфалерит, пирротин, магнетит, рутил, ильменит Chalcopyrite, fahlore, galena, sphalerite, pyrrhotite, magnetite, rutile, ilmenite	Гетит, халькозин, гематит, скородит, ярозит Goethite, chalcosine, hematite, scorodite, jarosite	Au, Ag	Se, Te, W
Каракутан (Зиаэтдин) Karakutan (Ziaetdin)	— // —	— // —	Золото самородное, пирит, арсенопирит, электрум Native gold, pyrite, arsenopyrite, electrum	Галенит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит, антимонит, джемсонит, буланжерит, пирротин, леллингит, калаверит, креннерит, сильванит, энаргит (?), шеелит Galena, sphalerite, chalcopyrite, tetrahedrite, antimonite, jamsonite, boulangerite, pyrrhotite, lellingite, calaverite, krennerite, sylvanite, enargite (?), scheelite	Гидроксиды железа, скородит, миметезит, кераргирит, англезит, ярозит, церуссит, крокоит, хризоколла, ковеллин, халькозин, урановые слюдки, вульфенит Iron hydroxides, scorodite, mimetessite, kerargyrite, anglesite, jarosite, cerussite, crocoite, chrysocolla, covellite, chalcocite, uranium mica, wulfenite	Au, Ag	Se, Te, W
Тамдыбулак (Тамдытау) Tamdymbulak (Tamdyttau)	— // —	— // —	Пирит, арсенопирит, золотое Pyrite, arsenopyrite, gold	Рутил, ильменит, магнетит, халькопирит, галенит, сфалерит, мельниковит, магнетит, сульфосоли свинца, энаргит, марказит, пирротин Rutile, ilmenite, magnetite, chalcopyrite, galena, sphalerite, melnikovite, magnetite, lead sulfosalts, enargite, marcasite, pyrrhotite	Гидроксиды железа, ярозит, псиломелан, гематит, медная зелень, англезит, борнит, халькозин Iron hydroxides, jarosite, psilomelane, hematite, copper green, anglesite, bornite, chalcosine	Au, Ag	Sb, W
Балпантау (Тамдытау) Balpantau (Tamdyttau)	— // —	— // —	Золото самородное, пирит, арсенопирит, халькопирит Native gold, pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite	Сфалерит, галенит, марказит, блеклая руда, рутил, ильменит, магнетит Sphalerite, galena, marcasite, fahlore, rutile, ilmenite, magnetite	Гидроксиды железа, халькозин Iron hydroxides, chalcosine	Au, Ag	не опр. не опр.

Мурунтау (Тамдынтау) Muruntau (Tamdytau)	Осадочно-метаморфогенные, вулканогенно-осадочные, осадочные образования Sedimentary-volcanogenic-sedimentary, sedimentary formations	Золото-кварцевый Gold-quartz	Золото самородное, пирит, арсенопирит Native gold, pyrite, arsenopyrite	Марказит, пирротин, халькопирит, шеелит, антимонит, сфалерит, галенит, висмутин, самородный висмут, киноварь, миаргирит, тетраэдрит, теллуриды золота, пираргирит, самородное серебро, вольфрамит, акантит, галеновисмутит, айкинит, полибазит, кобеллит, тетрадимит Marcasite, pyrrhotine, chalcopyrite, scheelite, antimonite, sphalerite, galena, bismuthine, native bismuth, cinnabar, miargyrite, tetrahedrite, gold tellurides, pyrrargyrite, native silver, wolframite, acanthite, galenobismuthite, aikinite, polybasite, cobellite, tetradyomite	Гетит, лимонит, скородит, питтицит, смитсонит, церуссит, ковеллит, малахит, гематит, ярозит, пирролизит Goethite, limonite, scorodite, pitticite, smithsonite, cerussite, covellite, malachite, hematite, jarosite, pyrolusite	Au, Ag	W, Sb, Bi, Te
Аджибугут (Ауминзатау) Adzhibugut (Auminzatau)	Терригенно-осадочные породы: кварц-сланцевые, и углеродистые сланцы, метаалевролиты, метапесчаники Terrigenous-sedimentary rocks: quartz-micaceous, micaceous-quartz and carbonaceous shales, metasilstones, metasandstones	--	Золото, серебро, пирит, арсенопирит Gold, silver, pyrite, arsenopyrite	Халькопирит, марказит, пирротин, сфалерит, блеклая руда, шеелит, галенит, акантит, бурнонит, ковеллит, магнетит, полибазит, буланжерит, джемсонит, мельниковит-пирит Chalcopyrite, marcasite, pyrrhotite, sphalerite, fahlore, scheelite, galena, acanthite, bourmonite, covellite, magnetite, polybasite, boulangierite, jamsonite, melnikovite-pyrite	Гетит, гидрогетит, лимонит, ярозит, кераргирит, иодирит, скородит Goethite, hydrogoethite, limonite, jarosite, kerargyrite, iodirite, scorodite	Au, Ag	W, Cu, Sb
Янги-Казган (Кульджуктау) Yangi-Kazgan (Kuljukttau)	Осадочно-терригенные отложения: алевролиты, песчаники, кварц-серпичитовые, кварц-хлорит-серпичитовые, кварц-полевошпат-сланцевые сланцы Sedimentary-terrigenous deposits: siltstones, sandstones, quartz-sericite, quartz-chlorite-sericite, quartz-feldspar-mica schists	--	Золото самородное, пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит, антимонит Native gold, pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, antimonite	Марказит, пирротин, акантит, шеелит, полибазит, тессит, тетрадимит, бурнонит, халькостибит, медь, железомангнетит, ильменит, рутил Marcasite, pyrrhotite, acanthite, scheelite, polybasite, hessite, tetradyomite, bourmonite, chalcostibite, copper, iron, magnetite, ilmenite, rutile	Гидроксиды железа (гетит, лимонит), скородит, глинистые минералы, барит, целестин Iron hydroxides (goethite, limonite), scorodite, clay minerals, barite, celestine	Au, Ag	Sb

Окончание таблицы 4 / End of Table 4

Объекты Objects	Рудовмещающие породы Host rocks	Геолого-промышленный тип Geological industrial type	Первичные рудные минералы / Primary ore minerals		Гипергенные минералы Hypergene minerals	Ценные компоненты Valuable components	
			Основные Main	Второстепенные Secondary		Основные Main	Попутные Associated
Авлиё-Заргар, (Мальгу-зар) Avliyو-Zargar, (Malguzar)	Метатерригенные осадочные образования: песчаники, алевролиты, аргиллиты, сланцы Metaterrigenous-sedimentary formations: sandstones, siltstones, mudstones, shales	— // —	Золото самородное, серебро самородное, акантит, электрум, пирит, арсенопирит Native gold, native silver, acanthite, electrum, pyrite, arsenopyrite	Халькопирит, пирролизит, ильменит, сфалерит, галенит, блеклая руда, акантит, магнетит, шеелит, рутил, антимонит Chalcopyrite, pyrolusite, ilmenite, sphalerite, galena, fahlore, acanthite, magnetite, scheelite, rutile, antimonite	Гидроксиды железа, скородит, псиломелан, манганит, пирролизит, гематит, ковеллин, халькозин, ярозит, скородит, англезит, массивот, ReO ₃ , куприт, валентинит Iron hydroxides, scorodite, psilomelane, manganite, pyrolusite, hematite, covellite, chalcocine, jarosite, scorodite, anglesite, massicot, ReO ₃ , cuprite, valentinite	Au, Ag	Mn, Sb
Юкары-Сарай (Сев. Нурау) Yukary-Saray (Northern Nuratau)	Интрузивные образования intrusive formations	Золото кварцевый Gold-quartz	Золото самородное, серебро, пирит, арсенопирит, магнетит, шеелит Native gold, silver, pyrite, arsenopyrite, magnetite, scheelite.	Халькопирит, борнит, марказит, пирротин, сфалерит, галенит, тетрадимит, желез, полибазит, пираргирит, тетраэдрит, родостаннин, висмутит, ильменит, рутил Chalcopyrite, bornite, marcassite, pyrrhotite, sphalerite, galena, tetradymite, iron, polybasite, pyrarгыrite, tetrahedrite, rhodostannin, bismuthite, ilmenite, rutile	Гидроксиды железа (гётит, гидрогётит), скородит, гематит, смитсонит, англезит, ковеллин Iron hydroxides (goethite, hydrogoethite), scorodite, hematite, smithsonite, anglesite, covellite	Au, Ag	W, Sb
Чармитан, Гужумсай (Сев. Нурау) Charmitan, Gujumsai (Northern Nuratau)	Интрузивные и вулканогенно-осадочные образования (граносиениты, сланцы, алевролиты) Intrusive and volcanogenic-sedimentary formations (granosyenites, shales, siltstones)	— // —	Золото самородное, электрум, кюстелит, арсенопирит, пирит, шеелит, теллуриды золота, тессит, галенит, сфалерит, пирротин Native gold, electrum, kustelite, arsenopyrite, pyrite, scheelite, gold tellurides, hessite, galena, sphalerite, pyrrhotite	Антимонит, мальдонит, хедлейит, пирротин, блеклая руда, висмутин, магнетит, вольфрамит Antimonite, maldonite, hedleyite, pyrrhotite, fahlore, bismuthine, magnetite, wolframite	Гидроксиды железа, ковеллин, гематит, ярозит, халькозин Iron hydroxides, covellite, hematite, jarosite, chalcocine	Au, Ag	W, Sb, Te, Bi



представлены прослоями и линзами мраморизованных доломитистых известняков, сменяющихся на глубину рассланцованными эффузивами основного состава и окварцованными сланцами с прослоями эффузивов. В состав четвертой подсвиты входят монотонные слюдисто-полевошпат-кварцевые и слюдисто-кварц-полевошпатовые сланцы, согласно залегающие на отложениях третьей подсвиты.

В оруденении на участке Янги-Давон (табл. 5) выявлены следующие ряды убывания значений КК по градиациям глубин (табл. 6). Здесь широко проявлена золото-пирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация. На всех глубинах от 0 до 240 м кларки концентрации (КК) мышьяка изменяются от 992.98 до 3882.35, т. е. наблюдается нарастание значений КК с глубиной. На втором месте в геохимическом ряду стоит сурьма, которая, видимо, связана с сульфосолями серебра золото-серебряной стадии и кварц-антимонитовой ассоциацией. В интервале глубин от 0 до 240 м КК золота изменяется от 34.9 до 78.5. Пик КК Au на глубине 120 м не имеет аналогов, кроме как у As. Отсюда следует, что основная продуктивная на золото ассоциация на всех глубинах — золото-пирит-арсенопиритовая. Третье место в геохимическом ряду занимает серебро и лишь в одном интервале (до 120 м) — золото. Значения КК серебра варьируют от 36.3 до 280. Максимальное значение отмечается на глубине 240 м, т. е. с глубиной роль серебра в рудах растет, как и золота. На глубоких горизонтах, в интервалах до 240 м отмечаются значения КК вольфрама от 22.3 до 43.8. Рост КК вольфрама связан развитием альбит-шеелитовой ассоциации, которая предваряет первую продуктивную золото-пирит-арсенопиритовую ассоциацию.

Повышенные КК золота, серебра, мышьяка, сурьмы, свинца и вольфрама достигаются к глубине 240 м, что указывает на длительность процесса рудообразования, начавшегося с образования альбит-шеелитовой, золото-пирит-арсенопиритовой, галенит-блекло-рудной ассоциаций и закончившегося образованием кварц-антимонитовой ассоциации. Выявленные минералы указаны в табл. 4.

В целом на участке Янги-Давон рудообразующие элементы геохимического ряда располагаются в соответствии со стадийностью гипогенного минералообразования, осложненной местами проявлением телескопирования.

Месторождение Тамдыбулак расположено на северном склоне гор Тамдытау. В геологическом строении месторождения в основном принимают участие породы косбулакской свиты, низы которой сложены гравелитами, песчаниками, алевролитами, сланцами, а верхи — эффузивами. По результатам химических анализов и петрографическим описаниям выделяются базальты, андезибазальты и андезиты. Меньшим развитием пользуются образования коскудукской (кынгырской) свиты и реликты карбонатных пород девон-карбонного возраста. Косбулакская свита является основной рудовмещающей для золотого оруденения. Породы свиты прорваны дайками диоритовых порфиров. Жильная минерализация представлена кварцевыми жилами, часто с сульфидами и самородным золотом.

Для участка Тамдыбулак получены данные по значениям КК рудных элементов (табл. 7) и выведены по-

следовательности их снижения по градиациям глубин (рис. 8). На этом участке широко проявлена золото-пирит-арсенопиритовая минеральная ассоциация (табл. 3). На всех глубинах в диапазоне 0—180 м значения КК мышьяка варьируют от 136.8 до 2213.2 с повышением до 1839.3 на глубине 60 м и далее до максимума. То есть степень проявления золото-пирит-арсенопиритового оруденения возрастает с глубиной. Это подтверждается и распределением значений КК золота. В направлении на глубину растет значение КК серебра.

Повышенные КК сурьмы на всех глубинах Тамдыбулака связываются с антимонитом, сульфосолями и блеклой рудой, объединёнными в золотосеребряную и сурьмяную стадии. Небольшое повышение содержания сурьмы в интервале 120—180 м объясняется проявлением сульфосолей свинца и серебра. Об этом же свидетельствуют КК свинца (35.94 на уровне 180 м). Кроме того, здесь возможно присутствие галенита. Повышение КК кадмия до 11.4 в интервале глубин 0—60 м обусловлено, вероятнее всего, наличием кадмистого тетраэдрита (Чвилева и др., 1988). Рост КК вольфрама в приповерхностной обстановке связан с появлением альбит-шеелитовой ассоциации (табл. 3) на геохимическом барьере карбонатных пород.

В целом четкой вертикальной зональности на участке Тамдыбулак не наблюдается. Элементы геохимического ряда располагаются в соответствии со стадийностью гипогенного минералообразования, местами эта картина осложняется телескопированием.

Участок Древний расположен на северных склонах западного окончания хребта Северный Нуратау, в 3 км юго-восточнее месторождения Пистали и в 0.6 км на юго-восток от участка Олтин-Диёр. Рассматриваемый участок характеризуется аналогичными в сравнении с золоторудными месторождениями Пистали и Олтин-Диёр геолого-структурной позицией и геохимическими признаками, в частности развитием мощных ореолов рассеяния золота. В геологическом строении района принимают участие метаморфизованные терригенно-осадочные породы тасказганской свиты верхнего протерозоя, прорванные интрузиями каттаического (средний-верхний карбон) и гатчинского (поздний карбон — ранняя пермь) магматических комплексов. Рассчитанные КК для различных градиаций глубин (табл. 9) и последовательность снижения значений КК приведены соответственно в табл. 9 и 10.

На участке Древний широко проявлена золото-пирит-арсенопиритовая парагенетическая минеральная ассоциация (табл. 3). На глубинах 0—1 и 120—180 м значения КК мышьяка достигают максимума — в пределах 258—499. На глубине 1—60 м значения КК мышьяка составляют 15.03, а на глубине 60—120 м — 5.88. Такое распределение КК свидетельствует о концентрировании первичной золото-пирит-арсенопиритовой минерализации в приповерхностной обстановке, где происходит окисление арсенопирита до скородита. Ниже до 120 м наблюдается постепенное рассеивание этой минерализации, а затем еще один скачок КК на глубине до 180 м.

Значения КК сурьмы по всем градиациям глубин находятся в пределах 123—257. Появление сурьмы мы связываем с кварц-стибнитовой ассоциацией с сульфосолями серебра (табл. 3), что характерно для проявления гидротермальной сурьмяной стадии.

Таблица 5. Кларки концентраций элементов на различных глубинах на участке Восточный месторождения Янги-Давон

Table 5. Clarke concentrations elements at various depths in the Vostochny area of the Yangi-Davon deposit

Глубина, м Depth, m	Элементы / Elements																						
	Ba	Be	V	W	Ga	Ge	Cd	Co	Mn	Cu	Mo	As	Ni	Sn	Pb	Ag	Sb	Ti	Cr	Zn	Au	Nb	Li
0—1 (83 пробы / 83 samples)	0.3	0.3	1.5	14.6	0.8	1.1	5.2	1.1	1.2	0.6	2.9	993.0	0.1	1.2	8.1	100.2	523.4	0.2	1.4	0.7	69.6	0.29	2.65
1—60 (47 проб/47 samples)	0.3	0.4	1.8	10.9	1.3	1.1	5.5	1.3	1.4	0.8	3.9	1211.5	0.2	1.4	6.4	149.0	233.6	0.6	1.5	0.99	59.9	0.49	1.01
60—120 (8 проб / 8 samples)	0.5	0.5	1.9	17.8	0.8	0.9	3.9	0.9	1.4	0.4	1.9	1339.0	0.1	1.2	3.3	40.7	147.5	0.4	0.8	1.2	78.5	0.49	0.66
120—180 (5 проб / 5 samples)	0.2	0.4	2.1	22.3	1.1	2.00	3.9	1.1	0.9	0.4	2.1	2535.3	0.1	1.2	2.3	36.3	116.0	0.6	2.1	1.3	34.9	0.62	0.66
180—240 (5 проб / 5 samples)	0.2	0.2	1.7	43.6	0.2	2.00	3.9	1.4	1.3	1.1	4.0	3882.4	0.1	1.2	10.4	280.0	3296.0	0.3	3.7	1.2	76.7	0.80	5.63

Таблица 6. Ряды убывания значений КК по грациям глубин на участке Восточный

Table 6. Decreasing series of CC values by depth gradations in the Vostochny area

0–1 м	As > Sb > Ag > Au
1–60 м	As > Sb > Ag > Au
60–120 м	As > Sb > Au > Ag
120–180 м	As > Sb > Ag > Au > W
180–240 м	As > Sb > Ag > Au > W

Таблица 7. Кларки концентраций элементов на различных глубинах месторождения Тамдыбулак

Глубина, м Depth, m	Элементы / Elements																						
	Ba	Be	V	W	Ga	Ge	Cd	Co	Mn	Cu	Mo	As	Ni	Sn	Pb	Ag	Sb	Ti	Cr	Zn	Au	Nb	Li
0—1 (33 пробы / 33 samples)	650	3.8	90	1.3	19	1.4	0.13	18	1000	47	1.1	1.7	58	2.5	16	0.07	0.5	4500	83	83	0.0043	20	32
1—60 (22 пробы / 22 samples)	0.67	0.37	1.42	14.07	0.35	0.63	11.42	0.93	1.17	0.51	5.44	721.21	0.64	1.20	11.13	9.55	21.82	0.22	2.05	0.77	34.88	0.62	0.48
60—120 (12 пробы / 12 samples)	1.78	0.26	1.95	10.70	0.55	1.38	9.09	2.15	1.82	0.47	2.31	1839.30	0.60	1.24	14.77	29.03	20.00	0.31	2.98	0.85	47.57	0.66	0.52
120—180 (4 пробы / 4 samples)	1.22	0.31	2.82	6.89	1.11	1.73	3.85	1.41	1.69	0.76	3.41	136.76	0.05	1.20	6.98	7.50	25.00	0.46	0.95	0.72	34.88	0.70	0.56
	0.77	0.43	2.31	11.83	1.02	0.36	3.85	1.53	1.88	0.74	6.93	2213.24	0.47	1.60	35.94	17.50	25.00	0.43	2.15	0.74	34.88	0.33	0.59

Таблица 8. Ряды убывания значений КК элементов по градам глубин месторождения Тамдыбулак

Table 8. Decreasing series of CC values of elements by depth gradations in the Tamdybulak deposit

Глубина, м Depth, m	Геохимический ряд Geochemical series
0–1	As > Au > Sb > W > Cd > Pb
1–60	As > Au > Ag > Pb > W
60–120	As > Au > Sb
120–180	As > Pb > Au > Sb > Ag > W

Таблица 9. Кларки концентрации на различных горизонтах участка Древний

Table 9. Clarke concentrations at different horizons of the Drevny area

Глубина, м Depth, m	Ba	Be	V	Bi	W	Ga	Ge	Cd	Co	Mn	Cu	Mo	As	Ni	Sn	Pb	Ag	Sb	Ti	Cr	Zn	Au	Nb
0—1 (133 пробы / 133 samples)	650	3.8	90	0.009	1.3	19	1.4	0.13	18	1000	47	1.1	1.7	58	2.5	16	0.07	0.5	4500	83	83	0.0043	20
	0.50	0.40	4.97	155.63	12.41	1.57	1.16	29.44	0.73	0.43	0.83	17.89	257.81	0.13	1.80	4.88	24.69	256.84	0.84	2.69	1.00	45.11	0.78
1—60 (9 проб / 9 samples)	0.02	0.07	1.72	111.11	4.53	0.21	1.55	13.25	0.81	0.07	0.33	19.49	15.03	0.05	1.20	0.56	7.70	135.56	0.33	1.73	0.25	34.88	0.40
60—120 (7 проб / 7 samples)	0.02	0.07	5.08	101.59	5.49	0.13	1.22	24.73	1.19	0.09	1.27	36.36	5.88	0.17	1.20	1.12	27.14	182.86	0.27	2.62	0.56	34.88	0.31
120—180 (6 проб / 6 samples)	0.02	0.07	1.33	97.69	4.68	0.13	0.77	40.38	1.11	0.17	0.11	16.06	499.02	0.05	1.20	0.99	7.74	123.33	0.23	1.87	0.68	34.88	0.21

Таблица 10. Ряды убывания значений кларков концентраций элементов по грациям глубин участка Древний

Table 10. Decreasing series of clarke concentrations values of elements by depth gradations of the Drevny area

Глубина, м Depth, m	Геохимические ряды Geochemical series
0—1 (133 пробы \133 samples)	As > Sb > Au > Cd > Ag > Mo > W
1—60 (9 проб / 9samples)	Sb > Au > Mo > As > Cd
60—120 (7 проб / 7 samples)	Sb > Mo > Au > Ag > Cd
120—180 (6 проб / 6 samples)	As > Sb > Cd > Au > Mo



Значения КК золота варьируются в узких пределах — 35—45, обнаруживая максимум на глубине 0—1 м. Выдержанность этих значений до глубины 180 м указывает на перспективы золотоносности во всем диапазоне проанализированных глубин. Все это согласуется с проявлением на всех глубинах золото-пирит-арсенопиритовой минеральной ассоциации.

Относительно повышенные значения КК (13—40) отмечаются для кадмия по всему разрезу до глубины 120 м, что, вероятно, обусловлено его примесью в сфалерите.

Вольфрам характеризуется относительным повышением значений КК в верхней части разреза (12.41), что также объясняется наличием здесь шеелита. Здесь же отмечаются повышенные значения КК для молибдена (16—36). Другие элементы, например свинец и цинк, характеризуются низкими значениями КК и поэтому не представляют практического интереса.

Для серебра выявлены два пика значений КК — один в приповерхностной зоне, второй на глубине 120 м. Это, вероятно, обусловлено характером распределения по разрезу сульфосолей серебра, образующихся на золотосеребряной стадии минерализации (табл. 3). Аналогичные пики в приповерхностной зоне отмечались выше для сурьмы и частично для свинца.

Генеральная последовательность уменьшения КК по разрезу на участке Древний вполне объясняется стадийностью гипогенного минералообразования, лишь местами осложненной минеральным телескопированием.

Такие же работы по изучению распределения рудообразующих элементов и минералов в объеме разведываемых золоторудных объектов проведены на участках Янги-Казган, Авлиё-Заргар и Юкори-Сарай. Результаты по этим объектам в принципе согласуются с приведенными выше материалами.

Обсуждение

Изучение вещественного состава руд по разрезам исследованных золоторудных объектов в корреляции со стадийностью гипогенного минералообразования, выявление на верхнерудном эрозионном срезе поздних рудообразующих минералов, подтвержденных геохимическими данными и указывающих на незначительность эрозионного среза, — все это позволяет оценивать на исследованных участках перспективы глубоких горизонтов. Кроме того, выявление вертикальной зональности на основе расчёта кларков концентраций для отдельных градаций глубин позволяет конкретизировать строение рудоносных зон. Все изученные участки были сопоставлены с эталонными объектами, близлежащими или близкими по геолого-промышленному типу. В качестве эталонных объектов выбраны месторождения Мурунтау, Аджибугут, Каракутан, Пистали, Таушан, Балпантау. В составе главных рудных минералов на всех исследованных участках, как и на эталонных объектах, преобладают минералы, обусловленные преимущественным развитием золото-пирит-арсенопиритовой минеральной ассоциации, соответствующей золото-кварцевому геолого-промышленному типу месторождений. Исключением является участок Джасаул, где кроме золото-пирит-арсенопиритовой проявилась и серебряная минерали-

зация. По этой причине участок Джасаул можно отнести к золотосеребряному типу месторождений. На участках Древний, Авлиё, Заргар, Юкары-Сарай также отмечается серебряная минерализация, но лишь спорадически.

Рассмотрим выявленные минеральные ассоциации, их положение в схеме гипогенного минералообразования, распространенность на изученных участках и сопоставим с эталонными объектами (табл. 4).

Рудные минеральные ассоциации начинаются с ранней оксидной стадии с магнетит-гематитовой ПМА. Она проявлена на всех участках и эталонных золоторудных объектах. Далее идет стадия вольфрамов с альбит-шеелитовой ПМА, которая отмечается на участках Древний, Авлиё, Юкары-Сарай и эталонных золоторудных объектах. Следующая раннесульфидная стадия — с кварц-молибденитовой, халькопирит-пирротиновой, пирит-арсенопиритовой с золотом и халькопирит-висмутовой ПМА. Кварц-молибденитовая ПМА на участках отсутствует. Халькопирит-пирротиновая ПМА установлена на всех участках и эталонных объектах. Пирит-арсенопиритовая с золотом ПМА является основной продуктивной на всех участках и эталонных объектах. Халькопирит-висмутовая ПМА отмечается на участках Древний, Юкары-Сарай и Мурунтау.

Полиметаллическая стадия представлена сфалерит-халькопирит-галенитовой и галенит-блеклорудной ПМА. Она характерна для всех изученных и эталонных участков.

В золотосеребряной стадии выделены тетрадимит-теллуриститовая (на участках Юкары-Сарай, Янги-Казган и эталонных Мурунтау, Каракутан), золотогеситовая (на участках Древний и Янги-Казган), золотосеребряная (на участках Джасаул, Древний, Авлиё, Заргар, Юкары-Сарай) и собственно серебряная (на участках Джасаул, Древний, Авлиё, Заргар, Юкары-Сарай) ПМА.

Следующие поздняя оксидная стадия с кварц-гематитовой ПМА и сульфатная с кварц-барит-галенитовой ПМА проявлены на всех участках.

Сурьмяная стадия с кварц-антимонитовой ПМА проявлена на участках Джасаул, Заргар, Янги-Казган и эталонных Мурунтау и Каракутан.

Карбонатно-фторидная стадия с кварц-кальцит-барит-флюоритовой ПМА проявилась фрагментарно в виде барита на изученных участках и в виде флюорита на Аджибугуте.

Заключение

Проанализирован минералого-геохимический состав руд многостадийных рудопроявлений, выявлен характер распределения рудообразующих элементов по их вертикальным разрезам в сопоставлении с эталонными золоторудными месторождениями, что создает реалистичные предпосылки для суждений о перспективах рудоносности на глубину. Исследованные объекты характеризуются большим разнообразием минералов, охватывающих весь диапазон продуктивного рудообразования от раннесульфидной (золотопирит-арсенопиритовой) стадии до промежуточной золотосеребряной и последующих сульфатной, сурьмяной, карбонатно-фторидной и карбонат-силикатной.



На участке Джасаул кларки концентрации золота и вольфрама с глубиной повышаются. Это объясняется связью этих элементов с более ранними парагенетическими минеральными ассоциациями: золото-пирит-арсенопиритовой и альбит-шеелитовой. Основные перспективы на золото связаны с проявлением раннесульфидной и золотосеребряной (золотогесситовая, золотосеребряная и собственно серебряная ассоциации) стадиями. Критериями перспективности объекта выступают длительность истории минералообразования и масштаб развития по вертикальному разрезу продуктивных минеральных ассоциаций.

На участке Янги-Давон повышенные значения КК золота, серебра, мышьяка, сурьмы, свинца и вольфрама растут на глубину, основная продуктивная здесь золото-пирит-арсенопиритовая. Проявление сурьмяной стадии указывает на возможность обнаружения минералов предшествующей золотосеребряной стадии, что значительно повысит перспективы участка. Кроме того, наличие на эрозионном срезе барит-целестиновой минерализации свидетельствует о промышленных перспективах глубоких горизонтов.

На участке Тамдыбулак золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация также проявлена на всех глубинах от 0 до 180 м, на что указывают значения КК мышьяка, варьирующие от 136 до 2213. При этом максимумы КК отмечаются на глубинах до 60 м (1839) и на 180 м (2213). На это же указывают вариации значений КК золота. Повышенные значения КК сурьмы на всех глубинах связываются с проявлениями стибнита, сульфоселей и блеклой руды, образовавшихся на золотосеребряной и сурьмяной стадиях. Наличие на эрозионном срезе участка поздней баритовой и целестиновой минерализации свидетельствует о промышленных перспективах глубоких горизонтов.

На участке Древний также широко проявлена золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация. Значения КК мышьяка достигают максимумов на глубинах до 1 м и в интервале 120–180 м, что свидетельствует о подобном распределении продуктивной на золото минерализации и соответственно промышленной перспективности глубоких горизонтов.

Литература/References

- Алимов Ш. П., Цой В. Д., Королева И. В. Особенности формирования и закономерности размещения природных типов руд месторождения Янги-Давон // Геология и минеральные ресурсы. 2016а. № 2. С. 13–18.
- Alimov Sh. P., Tsoy V. D., Koroleva I. V. *Osobennosti formirovaniya i zakonornosti razmeshcheniya prirodnykh tipov rud mestorozhdeniya Yangi-Davon* (Peculiarities of formation and patterns of distribution of natural types of ores at the Yangi-Davon deposit). *Geology and Mineral Resources*, 2016a, No. 2, pp. 13–18.
- Алимов Ш. П., Цой В. Д., Сайитов С. С. Минералогическо-геохимические особенности золоторудных месторождений Западного Узбекистана // Геология и минеральные ресурсы. 2016б. № 6. С. 25–30.
- Alimov Sh. P., Tsoy V. D., Saitov S. S. *Mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti zolotorudnykh mestorozhdeniy Zapadnogo Uzbekistana* (Mineralogical and geochemical features of gold deposits in Western Uzbekistan). *Geology and Mineral Resources*, 2016b, No. 6, pp. 25–30.

Королева И. В., Цой В. Д., Алимов Ш. П., Сайитов С. С. Минеральный состав руд месторождения Тамдыбулак. Ташкент: ГП «ИМР», 2018. С. 236–239.

Koroleva I. V., Tsoy V. D., Alimov Sh. P., Sayitov S. S. *Mineralnyy sostav rud mestorozhdeniya Tamdybulak* (Mineral compositions of ores of the Tamdybular deposit). Tashkent: Research Institute of Mineral Resources, 2018, pp. 236–239.

Мурунтау / Под ред. Т. Ш. Шаякубова. Ташкент: Фан, 1998. 539 с.

Murantau. Ed. T. Sh. Shayakubov, Tashkent: Fan, 1998. 539 p.

Цой В. Д. Стадийность гипогенного минералообразования и прогнозирование рудно-формационных типов месторождений золота // Золото, платина и алмазы Республики Коми и сопредельных регионов: Материалы Всерос. конф. Сыктывкар: Геопринт, 1998. С. 69.

Tsoy V. D. *Stadiynost' gipogennogo mineraloobrazovaniya i prognozirovaniye rudno-formatsionnykh tipov mestorozhdeniy zolota* (Stages of hypogene mineral formation and forecasting of ore-formational types of gold deposits). *Proceedings of conference «Gold, Platinum and Diamonds of the Komi Republic and Adjacent Regions»*, Syktyvkar: Geoprint, 1998, p. 69.

Цой В. Д., Алимов Ш. П. Природные типы руд месторождения Янги-Давон // Геология и минеральные ресурсы. 2011. № 2. С. 26–30.

Tsoy V. D., Alimov Sh. P. *Prirodnyye tipy rud mestorozhdeniya Yangi-Davon* (Natural types of ores of the Yangi-Davon deposit). *Geology and Mineral Resources*, 2011, No. 2, pp. 26–30.

Цой В. Д., Алимов Ш. П., Королева И. В. Геолого-минералогические особенности, природные типы руд на золоторудных месторождениях Узбекистана // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Якутск. 2014. С. 535–538.

Tsoy V. D., Alimov Sh. *Geologo-mineralogicheskiye osobennosti, prirodnyye tipy rud na zolotorudnykh mestorozhdeniyakh Uzbekistana* (Geological and mineralogical features, natural ore types in gold deposits of Uzbekistan). *Proceedings of conference «Geology and mineral resources of the North-East of Russia»*, Yakutsk, 2014, pp. 535–538.

Цой В. Д., Сайитов С. С. Минералогическо-геохимические особенности руд месторождения Пистали // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Ташкент.: ГП НИИМР, 2016. С. 130–134.

Tsoy V. D., Saitov S. S. *Mineralogo-geokhimicheskiye osobennosti rud mestorozhdeniya Pistali* (Mineralogical and geochemical features of the ores of the Pistali deposit). *Proceedings of conf. «Integration of science and practice as a mechanism for the effective development of the geological industry of the Republic of Uzbekistan»*, Tashkent: Research Institute of Mineral Resources, 2016, pp. 130–134.

Цой В. Д., Королева И. В., Алимов Ш. П., Булин С. Е., Печерский Р. Д. Природные типы руд месторождения Тамдыбулак // Там же, 2018. С. 336–338.

Tsoy V. D., Koroleva I. V., Alimov Sh. P., Bulin S. E., and Pechersky R. D. *Prirodnyye tipy rud mestorozhdeniya Tamdybulak* (Natural types of ores at the Tamdybulak



- deposit). Proceedings of conference «Integration of science and practice as a mechanism for the effective development of the geological industry of the Republic of Uzbekistan», Tashkent: Research Institute of Mineral Resources, 2018, pp. 336–338.
- Цой В. Д., Сайитов С. С., Королева И. В., Булин С. Е. Стадийность гипогенного минералообразования рудных месторождений Узбекистана и её роль при оценке перспективности разведываемых объектов // Геология и минеральные ресурсы. 2021. № 1. С. 15–18.
- Tsoy V. D., Saitov S. S., Koroleva I. V., Bulin S. E. *Stadiynost gipogennoy mineraloobrazovaniya rudnykh mestorozhdeniy Uzbekistana i yeyo rol' pri otsenke perspektivnosti razveduyemykh obyektoy* (Staging of hypogene mineral formation of ore deposits in Uzbekistan and its role in assessing the prospects of explored objects). *Geology and Mineral Resources*, 2021, No. 1, pp. 15–18.
- Цой В. Д., Сайитов С. С., Королева И. В. Вещественный состав руд золоторудных объектов отдельных регионов Узбекистана и перспективы их дальнейшего изучения // Вестник университета геол. наук. 2022. № 1. С. 86–98.
- Tsoy V. D., Saitov S. S., Koroleva I. V. *Veshchestvennyy sostav rud zolotorudnykh obyektoy ot del'nykh regionov Uzbekistana i perspektivy ikh dal'neyshego izucheniya* (Material composition of ores of gold ore objects in certain regions of Uzbekistan and prospects for their further study). *Bulletin of the University of Geological Sciences*, No. 1, 2022, p. 86–98.
- Чвилева Т. Н., Безсмертная М. С., Спиридонов Э. М., Агроскин А. С., Папаян Г. В. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.
- Chvileva T. N., Bezsmertnaya M. S., Spiridonov E. M., Agroskin A. S., Papayan G. V. *Spravochnik — opredelitel rudnykh mineralov v otrazhennom svete* (Handbook-determinant of ore minerals in reflected light). Moscow: Nedra, 1988, 504 p.
- Tsoy V. D., Koroleva I. V., Alimov Sh. P. Mineralogical features of new gold deposits in Uzbekistan. *Geology of Uzbekistan for years of Independence*. Tashkent: Research Institute of Mineral Resources, 2016, pp. 154–171.

Received / Поступила в редакцию 24.01.2023

Electroacoustic properties of various types of quartz in the finely dispersed state

L. N. Kotov¹, M. P. Lasyok¹, Faqin Dong², Zhang Wei²

¹Syktyvkar State University, Syktyvkar, Russia; kotovln@mail.ru

²Southwest University of Science and Technology, Mianyang, China

An electroacoustic echo method for studying the high-frequency (HF) electrical and elastic properties of piezoelectric materials in a finely dispersed state is described. The characteristics and relaxation time of electroacoustic echo for natural and artificial quartz powders are determined. Natural one is represented by the following types: smoky quartz, citrine, amethyst, recrystallized, granular and columnar. It is shown that natural quartz (especially citrine), has a higher electromechanical coupling coefficient than artificial quartz. The amplitudes of HF electric field are determined, at which the saturation mode of the echo signals is observed.

Keywords: artificial and natural quartz, electroacoustic echo, relaxation time and echo parameters, powder.

Электроакустические свойства различных типов кварца в мелкодисперсном состоянии

Л. Н. Котов¹, М. П. Ласёк¹, Фагин Донг², Чжан Вей²

¹ Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар, Россия

² Юго-Западный университет науки и технологий, Мианьянг, Китай

Описан метод электроакустического эха для исследования высокочастотных (ВЧ) электрических и упругих свойств пьезоэлектрических материалов, находящихся в мелкодисперсном состоянии. Определены характеристики и время релаксации электроакустического эха для порошков из природного и искусственного кварца. Природный представлен следующими типами: дымчатый кварц, цитрин, аметист, перекристаллизованный, гранулированный и шестоватый. Показано, что природный кварц (особенно цитрин) имеет значение коэффициента электромеханической связи большее, чем у искусственного кварца. Определены амплитуды ВЧ электрического поля, при которых наблюдается режим насыщения сигналов эха.

Ключевые слова: искусственный и природный кварц, электроакустическое эхо, время релаксации и параметры эха, порошок.

Introduction

Piezoelectric materials are an integral part of electronics and electrical equipment used for domestic and industrial purposes, such as ultrasonic piezoelectric transducers, resonators, sensors, drives, transformers (Shujun Zhang et al., 2018; F. Li et al., 2018; Heywang et al., 2008; S. Troler-McKinstry et al., 2018; Park and Shrout, 1997). The development and use of elements and devices of functional electronics based on new piezo- and pyroelectric materials is currently an important and rapidly developing area of HF and microwave technology (Iwazaki et al., 2015; Hackenberger et al., 2019; Moreira et al., 2011). Among many different types of piezoelectric materials, quartz crystals are the most widely used traditional piezoelectric materials in practice (Mohammadi, 2015; Kotov et al., 2020). A distinctive feature of functional electronics is the performance of operations on radio signals in the absence of traditional discrete elements: capacitors, resistors, transistors, etc. Radio signals are processed as a result of the interaction of electromagnetic radiation with the special physical properties of the solid medium in which this radiation propagates. A special place among

these areas is occupied by functional acoustoelectronics, which, due to its great technical capabilities, finds wide practical application. Elements of acoustoelectronics are widely used, for example, as resonators for surface acoustic waves in cell phones. Acoustoelectronics widely uses the excitation of acoustic oscillations and waves when a piezoelectric material is placed in an electromagnetic field. The measurement of acoustic parameters, such as piezoelectric constants and electromechanical coupling coefficient, the quality factor of oscillations of piezoelectric bodies, the amplitude of the signal saturation field, have become the most sensitive, and sometimes the only possible methods for determining the nature of materials (Kotov et al., 2020). One of the most important properties of quartz crystals is an infinitely high-quality factor of vibrations and a wide band of operating frequencies of the piezoelectric transducer. Therefore, the most efficient devices of functional acoustoelectronics can be built on a wide class of quartz with various impurities. A wide variety of physical properties of crystals is created by nature itself, which in natural conditions creates many different piezoelectric crystals that cannot yet be

For citation: Kotov L. N., Lasyok M. P., Dong Faqin, Wei Zhang Electroacoustic properties of various types of quartz in the finely dispersed state. Vestnik of Geosciences, 2023, 2(338), pp. 26–30, doi: 10.19110/geov.2023.2.3

Для цитирования: Котов Л. Н., Ласёк М. П., Dong Faqin, Wei Zhang. Электроакустические свойства различных типов кварца в мелкодисперсном состоянии // Вестник геонаук. 2023. 2(338). С. 26–30. DOI: 10.19110/geov.2023.2.3



created artificially (Kotova et al., 2018; Chen Mulan et al., 2021). This article presents the results of our study of high-frequency (HF) piezoelectric properties and quality factor of electroelastic oscillations of different types of natural quartz in comparison to similar properties of artificial quartz. Here, we also consider possible mechanisms and methods for enhancing the piezoelectric properties and increasing the quality factor of electroelastic vibrations, for example, by introducing impurities when growing quartz crystals in artificial conditions.

Methodology and technique of the experiment

A convenient method for studying the electrical and elastic properties of piezoelectric materials can be the electroacoustic echo (EAE) method (Kajimura, 1982; Shutilov et al., 1985). The EAE method consists in the occurrence of an electrical response after excitation of an ensemble of piezoparticles (powder) by radio pulses of an electric field (Fig. 1). The EAE method allow studying

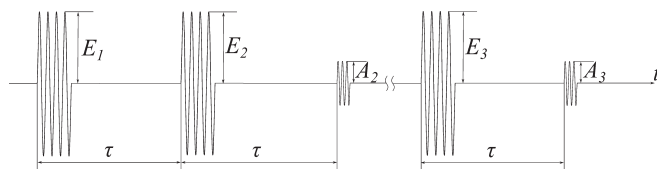


Fig. 1. Time sequence of radio pulses of the electric field E_1 , E_2 , E_3 and two- and three-pulse echo signals A_2 , A_3

Рис. 1. Временная последовательность радиоимпульсов электрического поля E_1 , E_2 , E_3 и сигналов двух- и трёхимпульсного эха A_2 , A_3

the HF electrical and elastic properties of materials at high amplitudes of electric fields and elastic deformations that are unattainable by other methods. With its help, it is possible to study the nonlinear electrical and elastic properties, the distribution of surface charges, defects and their mobility in particles, which manifest themselves in large samples only in a weak form (Shutilov et al., 1985). For effective excitation of elastic oscillations of piezoparticles, it is necessary that the acoustic resonance condition be satisfied, under which the particle sizes should be of the order of the elastic wave length in the material under study. Two- and three-pulse electroacoustic echoes in piezoparticle powders are observed in the time intervals during which the sound is attenuated in the studied material. This time for solids does not exceed a fraction of a second; therefore, the available standard equipment for observing nuclear quadrupole resonance (NQR) satisfies all the requirements imposed on the duration, amplitude of radio frequency pulses, and the amplitude of weak receiving electrical signals emitted by piezoelectric powder.

In this work, studies of two- and three-pulse electroacoustic echoes in quartz powders were carried out with pulsed panoramic spectrometer ISP-1. The main blocks of the ISP-1 spectrometer are shown in Fig. 2. The ISP-1 spectrometer has the following parameters: operating frequency range $f = 1 \div 20$ MHz, radio pulse duration $0.1 \div 100$ μ s, voltage applied to the parallel oscillatory circuit $0.1 \div 3$ kV.

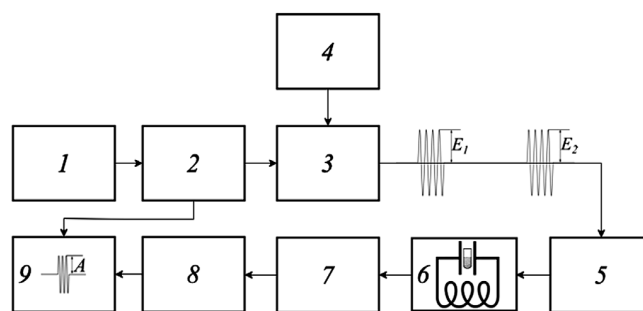


Fig. 2. Block diagram of the ISP-1 spectrometer for studying two- and three-pulse electroacoustic echoes in piezoelectric powders: synchronization unit (1), time interval unit (2), radio pulse shaper-amplifier (3), sinusoidal signal generator (4), matching device (5), a measuring device in the form of an inductor with a capacitor (6), a receiver with a signal amplifier (7), an attenuator (8), an oscilloscope for observing signals (9).

Рис. 2. Блок-схема спектрометра ИСП-1 для исследования двух- и трёхимпульсного электроакустического эха в пьезоэлектрических порошках: блок синхронизации (1), блок временных интервалов (2), формирователь-усилитель радиоимпульсов (3), генератор синусоидальных сигналов (4), согласующее устройство (5), измерительное устройство в виде катушки индуктивности с конденсатором (6), приёмник с усилителем сигналов (7), аттенюатор (8), осциллограф для наблюдения сигналов (9)

As a rule, an oscillatory circuit consists of an inductor, measuring and trimmer capacitors. To study the electroacoustic echo, the substance under study is placed between the plates of the measuring capacitor. The time interval from the end of the exciting radio pulses to the moment of observation of echo signals, in which it is impossible to observe electroacoustic responses, is 10–20 μ s. In this work, all studies of quartz powders were carried out at room temperature $T = 300$ K. In experiments on the study of electroacoustic echo in quartz, the frequency of the electric field was $f = 16.5$ MHz, the duration of all radio pulses of the electric field was $\Delta t = 4$ μ s. The amplitude of the electrical response of the two-pulse echo was determined depending on the voltage across the capacitor with the sample at a constant interval between the first two radio pulses $\tau = 30$ μ s and between the second and third radio pulses $T_p = 1$ ms. From the obtained dependence of the amplitude of the two-pulse echo on the interval between radio pulses τ , the relaxation time of the two-pulse echo T_2 was determined and from this the quality factor of the electroelastic vibrations of quartz particles of the powder $Q = f \cdot T_2$ was found.

Sample preparation, characterization and composition

All experiments on the study of different quartz were performed on powder samples with particle sizes of 75–125 μ m. Powders with these particle sizes were obtained using a set of measuring sieves with mesh sizes of 75 and 125 μ m.

The selected sizes of powder particles corresponded to half the length of the elastic half-wave in the materi-

Table 1. Content of impurity elements, 10^{-4} wt. %
Таблица 1. Содержание примесей в кварце, 10^{-4} мас. %

Elements / Элементы		Al	Ti	K	Mg	Na	Fe	Li	Cu	Mn
Quartz types / Типы кварца	Smoky / Дымчатый кварц	32.4	17.1	18.8	3.8	3.9	5.4	0.6	0.6	0.2
	Citrin / Цитрин	222	13.1	7.5	1.7	2.5	no	19.2	0.5	0.1
	Amethyst / Аметист	27.3	4.5	2.6	1.2	1.9	no	4.1	0.9	0.1
	Recrystallized / Перекристаллизованный	51	16.3	4.5	4.7	9.9	no	4.5	0.5	0.2
	Granular / Гранулированный	384	24.2	27	25	21.5	19.5	0.08	1.3	0.5
	Columnar / Шестоватый	79	21.8	23.1	8.5	30	5.8	0.2	0.4	0.2

al under study $l \approx \lambda/2 = V/2f$, where λ , V , f — the length, velocity, and frequency of the elastic longitudinal (or transverse) wave (Shutilov et al., 1985). Taking into account the fact that in our experiments the frequency of the electric field was equal to $f=16.5$ MHz, and the velocity of the transverse wave in quartz was $V = 3.9158$ m·s $^{-1}$. For this speed, the length of the elastic wave will be $\lambda = 237.3$ μ m. It is known that the fulfillment of the acoustic resonance condition corresponds to the effective excitation of electroelastic vibrations of particles and better observation of electroacoustic echo signals from powder piezoparticles. The resulting powder with a volume of 0.2 cm ^{3} was poured into an ampoule 3 cm long and with an outer diameter of 0.6 cm. After that, the powder was subjected to high-temperature heating at 600 K for an hour with air being evacuated from the powder ampoules to a pressure of 10^2 Pa. After this procedure, the powder ampoules were sealed. Vacuumization of heated powders was carried out in order to clean the surface of quartz particles from water molecules and OH hydroxyl groups. The vacuum in the sealed ampoule with the powder also contributed to a decrease in the damping of elastic vibrations of powder particles by air molecules during the study.

All types of quartz that were used to study the electroacoustic echo were selected in the Subpolar Urals (Russia). Along with silicon oxide, they contain various impurities to a large extent. In the Subpolar Urals (Russia), a variety of vein quartz is widely developed, which is used as a technical raw material. Table 1 shows the average content of impurities for various types of quartz, most of which were taken from the hydrothermal quartz veins of the Lyapino anticlinorium. Impurities of Al, Cu, Fe, Mg, Mn atoms were determined by the spectral method at the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russia), and impurities of Na, Ka, Li atoms were determined at St. Petersburg Mining University (St. Petersburg, Russia) (Kotova et al., 2018).

Experimental results and discussion

Figure 3 shows the amplitude dependences of two- (a) and three-pulse (b) electroacoustic echo in powders obtained from different types of quartz. It can be seen from Fig. 3 that the dependences of the two- and three-pulse echo on the electric field strength $A_2(E_{02})$, $A_3(E_{03})$ have linear and non-linear sections. For the linear section at the electric field amplitude $E_0 < E_{02max}$, E_{03max} a linear increase in the amplitude of the two- and three-pulse electroacoustic echo is observed depending on the electric field strength. The second region at $E_0 > E_{01max}$, E_{02max} corresponds to the nonlinear region, in which it

is possible to distinguish areas of saturation and decay of the amplitudes of the echo signals. The areas of saturation of the echo amplitude can be associated with the area of saturation of the permittivity of quartz crystals. The observed segments of the decay of the amplitudes of the A_2 , A_3 echo can be caused by the breakdown of the elastic oscillations of quartz particles at high amplitudes of the electric field (Kajimura, 1982) due to a change in the natural frequency of the elastic oscillations. The decrease in the A_2 amplitude in the region of the two-pulse echo decay is the least observed for artificial quartz, which indicates small excited amplitudes of elastic oscillations of powder particles compared to the amplitude of oscil-

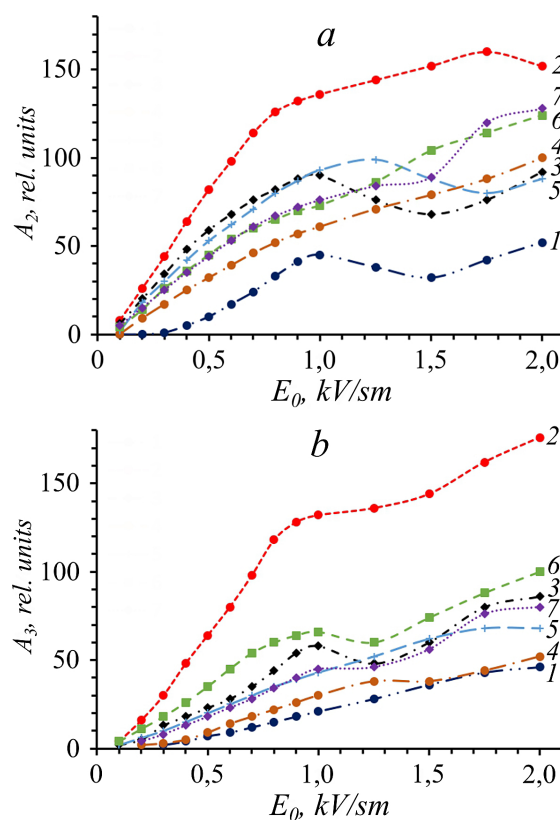


Fig. 3. Dependences of the amplitude of two- (a) and three-pulse (b) echo on the amplitude of the HF field for different types of quartz: artificial (1), smoky (2), citrine (3), amethyst (4), recrystallized (5), granulated (6), columnar (7)

Рис. 3. Зависимости амплитуды двух- (а) и трёхимпульсного (б) эха от амплитуды ВЧ поля для разных типов кварца: искусственного (1), дымчатого (2), цитрина (3), аметиста (4), перекристаллизованного (5), гранулированного (6), шестоватого (7)



Table 2. Characteristics of electroacoustic echo of powders of different types of quartz
Таблица 2. Характеристики электроакустического эха порошков разных типов кварца

Characteristics / Характеристики		$Q \cdot 10^{-3}$	T_2 , ms	A_{2max} , rel.unit	A_{3max} , rel.unit	E_{02max} , kV/cm	E_{03max} , kV/cm	K, rel.unit
Quartz type / Типы кварца	Artificial / Искусственный	3.64	0.22	35	45	2.0	1.0	1
	Citrin / Цитрин	36.4	2.2	40	80	1.0	1.0	2.1
	Smoky / Дымчатый	32.2	1.95	130	125	0.95	0.9	1.3
	Amethyst/Аметист	9.8	0.59	35	95	1.3	2.0	1.4
	Recrystallized / Перекристаллизованный	16.8	1.02	60	50	1.7	1.7	1.4
	Granular / Гранулированный	14.0	0.85	60	65	0.9	1.0	1.31
	Columnar / Шестоватый	5.6	0.34	40	85	1.0	1.3	1.1

lations of particles from natural quartz. The highest values of the tangent of the slope of the A_{2max} (E_{02}) curves in the linear section of 0.3–0.8 kV/cm are observed for smoky and granular quartz (Table 2), which corresponds to their large values of the electromechanical coupling coefficient compared to other quartz. To observe a three-pulse echo, the time of excitation of the powder by the third radio pulse T_p must be less than the decay time of the elastic oscillations of the particles or the two-pulse echo T_2 , the values of which are given in Table 2. In the Table 2, the following designations were used A_{2max} and A_{3max} — the maximum amplitude of the two- and three-pulse echo in the linear section, E_{02max} , E_{03max} — the amplitude of the electric field at which saturation of the amplitude of the two- and three-pulse echo signals begins, $tg\alpha$ — the tangent of the slope of the $A_2(E_{02})$ curve in the linear section 0.3–0.8 kV/cm. The maximum amplitude of the three-pulse echo is observed for smoky quartz, and then for citrine and recrystallized quartz, which indicates their large decay times of elastic oscillations of particles. A large value of the relaxation time of electroelastic vibrations of powder particles is typical for citrine and almost the same for smoky quartz, which is most likely due to the highest uniformity of the surface of the powder under study (Table 1), for example, the absence of mineral impurities and textural and structural features, which leads to a decrease in sound attenuation α . In granular quartz, the relaxation time is half that of citrine. Here it is also possible to talk about the influence of texture-structural impurities and the presence of mineral impurities in the total volume of the sample, for example, mica. Granular quartz has a fine-grained structure, various microstructural defects of grains are present: almost all quartz grains are presented as subindividuals with characteristic wavy or cloudy extinction, and there are also various microdefects in the form of mineral impurities. That is, we can conclude that the powders of granulated and recrystallized quartz are the most “non-monomineral”, which leads to a decrease in the relaxation time compared to other natural quartz samples.

Table 2 shows the ratios of the electromechanical coupling coefficients K for artificial quartz and other types of quartz. When evaluating the ratio for the electromechanical coupling coefficients K, it was taken into account that the amplitude of the two-pulse electroacoustic echo A_2 at the same parameters of the HF electric field depends on the material parameters as follows $A_2 \sim T_2 K_3$. Amethyst quartz has the weakest high-frequency piezoelectric effect among all studied natural quartz.

Conclusion

The method of two- and three-pulse electroacoustic echo for the study of piezoelectric materials, including varieties of quartz, which are in a finely dispersed state, is described. The values of relaxation times and parameters of electroacoustic echo in quartz powders, consisting of particles with sizes of 75–125 μm , are obtained. Powders obtained from artificial and natural quartz, including vein quartz from the Lyapinsky anticlinorium (Subpolar Urals, Russia), were studied. The relative values of the electromechanical coupling coefficient for natural types of quartz are obtained and the amplitudes of the HF electric field are determined, at which the electroacoustic echo signal saturation mode is observed. It is shown that most of the natural quartz has a value of the electromechanical coupling coefficient greater than that of artificial quartz. Citrine is characterized by the highest value of the coefficient of electromechanical coupling K, and columnar quartz has the closest value of K to artificial quartz. It is shown that among the studied quartz powders, granular and recrystallized are characterized by the shortest relaxation time compared to other natural quartz samples, which is primarily due to the presence of mineral impurities in the quartz aggregate and, accordingly, in the powder, as well as with textural and structural features. The saturation region of the two- and three-pulse echo amplitudes for most quartz is in the range of 0.9–1.3 kV/cm, except for artificial and recrystallized quartz, for which this value is 1.7–2 kV.

The authors are grateful to P. P. Yukhtanov for providing samples and discussion.

References

- Chen Mulan, Dong Faqin, Li Hailong, Zhao Yulian, Ou Shi, Liu Mingxue, Zhang Wei. Interface interaction between high-siliceous/calcareous mineral granules and model cell membranes dominated by electrostatic force. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28(21), pp. 27432–27445.
- Hackenberger, Bellaiche L., Xu Z., Chen L. Q., Shrout T. R. and Zhang S. J. Giant piezoelectricity of Sm-doped Pb ($\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3}$) O_3 -PbTiO $_3$ single crystals. *Science*, 2019, 364, pp. 264–268.
- Heywang W., Lubitz K., Wersing W. Piezoelectricity: Evolution and Future of a Technology. NY: Springer Science & Business Media, 2008.
- Iwazaki Y., Yokoyama T., Nishihara T., Ueda M. Highly enhanced piezoelectric property of co-doped AlN. *Appl. Phys. Express*, 2015, 8, pp. 061–501.
- Kajimura K. Dynamic polarization echoes in powders materials. In: *Phys. Acoust.*, N.Y., 1982, 16, pp. 295–340.



- Kotov L. N., Kotova E. L., Gömze L. N. Electroacoustic properties of quartz minerals in a finely dispersed state. *Journal of Silicate Based and Composite Materials*, 2020, V. 72, pp. 178–181.
- Kotova O. B., Harja M., Kotov L. N., Ponaryadov A. V. Titanium minerals as prototypes of functional materials with pronounced electromagnetic properties. *Vestnik of Institute of Geology of Komi SC of UB of RAS*, 2018, No. 4, pp. 34–39. (doi 10.19110/2221-1381-2018-4-34-39).
- Li F., Cabral M. J., Xu B., Cheng Z. X., Dickey E. C. et al. Recent developments in piezoelectric crystals. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 2018, No. 55, pp. 419–439.
- Mohammadi M. M. A comparison between quartz and PZT ceramic for Sensoric applications. *Research Desk*, 2015, 2(4).
- Moreira M., Bjurström J., Katardjev I., Yantchev V. Aluminum scandium nitride thin- film bulk acoustic resonators for wide band applications. *Vacuum*, 2011, 86, pp. 23–26.
- Park S. E., Shrout T. R. Ultrahigh strain and piezoelectric behavior in relaxor based ferroelectric single crystals. *J. Appl. Phys.*, 1997, 82, pp. 1804–1811.
- Shujun Zhang, Fei Li, Fapeng Yu, Xiaoning Jiang, Ho-Yong Lee, Jun Luo and Shrout T. R. Recent Developments in Piezoelectric Crystals. Review. *Journal of the Korean Ceramic Society*, 2018, No. 55 (5), pp.19–439.
- Shutilov V. A., Andzhikovich I. E., Komashnya V. L., Kotov L. N. Glass-like anomalies of electro-acoustic echo in crystalline quartz powders. *Solid State Physics*, 1985; 27 (3): 929–930.
- Trolier-McKinstry S., Zhang S., Bell A. J. and Tan X. High-Performance Piezoelectric Crystals, Ceramics, and Films. *Annu. Rev. Mater. Res.*, 2018, No. 48(1), pp. 191–217.

Received / Поступила в редакцию 25.01.2023



Из архива профессора Д. П. Григорьева: письма Е. В. Цинзерлинг

Ю. Л. Войтеховский^{1,2}

¹Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург

²Российское минералогическое общество, Санкт-Петербург

vojtehovskij@herzen.spb.ru

В статье впервые публикуются шесть писем и фото известного российского кристаллографа и минералога д. г.-м. н. Е. В. Цинзерлинг (1887–1979) из личного архива профессора Д. П. Григорьева (1909–2003), охватывающие период с 28.10.1958 по 02.03.1964, а также официальные письма из Московского госуниверситета от 15.12.58 с авторефератом ее диссертации и Всесоюзного научно-исследовательского института пьезооптического минерального сырья от 28.09.1962 и 03.01.1963 с просьбой о рецензировании и научном редактировании ее статей. Все документы оригинальные, рукописи расшифрованы и атрибутированы автором. Актуальность статьи состоит в необходимости отстаивания приоритетов отечественной науки и техники. Цель работы — максимально полное освещение творческой жизни и профессиональной деятельности д. г.-м. н. Е. В. Цинзерлинг, недостаточно охарактеризованных в исторической и научно-популярной литературе. Приведенные в статье материалы существенно дополняют и оживляют ее биографию, наполненную всесторонними исследованиями природного и синтетического кварца, сопоставленными с результатами мирового уровня, реализованными в промышленных технологиях. Обращено внимание на важность личных архивов выдающихся личностей в изучении истории науки. Архив профессора Д. П. Григорьева в письмах и других документах (протоколах, программах, стенограммах конференций и др.) отражает целый пласт до- и послевоенной истории отечественной минералогии.

Ключевые слова: Д. П. Григорьев, Е. В. Цинзерлинг, кристаллография и минералогия кварца, история минералогии.

From Professor D. P. Grigoriev's archive: E. V. Zinserling's letters

Yu. L. Voytekhovsky^{1,2}

¹A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg

²Russian Mineralogical Society, Saint Petersburg

The article for the first time publishes six letters and photos of the famous Russian crystallographer and mineralogist Dr. Sci. (Geol. & Mineral.) E. V. Zinserling (1887–1979) from the personal archive of Prof. D. P. Grigoriev (1909–2003), covering the period from 28.10.1958 to 02.03.1964, and also official letters from the Moscow State University from 15.12.1958 with the abstract of her dissertation and from the All-Union Scientific Research Institute of piezo-optical mineral raw materials from 28.09.1962 and 03.01.1963 with a request for reviewing and scientific editing of her articles. All documents are original, manuscripts are transcribed and attributed by the author. The article is relevant due to advocating priorities of domestic science and technology. The work is aimed at the fullest possible coverage of the creative life and professional activity of Dr. Sci. E. V. Zinserling, which is insufficiently characterized in historical and popular scientific literature. The materials presented in this article substantially complete and enliven her biography, which is full of comprehensive studies of natural and synthetic quartz, with world-class results implemented in industrial technology. Attention is drawn to the importance of personal archives of outstanding personalities in the study of the history of science. Professor D. P. Grigoriev's archive in his letters and other documents (protocols, programs, conference transcripts, etc.) reflects a whole layer of the pre- and post-war history of Russian mineralogy.

Keywords: D. P. Grigoriev, E. V. Zinserling, crystallography and mineralogy of quartz, history of mineralogy.

Введение

Начало 1920-х ознаменовано появлением целой плеяды творчески одаренных и образованных девушек, оставивших яркий след в истории отечественной геологии, в том числе минералогии и кристаллографии. Многие из них прикоснулись к этим наукам на Высших женских (Бестужевских) курсах, прослушав лекции А. Е. Ферсмана. В какие бы организации потом не распределила их судьба, творческий почерк учителя сохранился. После его ухода (1945) многие избрали

адресатом Д. П. Григорьева — будущего создателя онтогении минералов. По-видимому, столь сильна была жажда профессионального общения. Впрочем, А. Е. Ферсман был официальным оппонентом на защите докторской диссертации самого Д. П. Григорьева (1943). Так что ничего странного тут нет. А есть необходимое переключение интеллектуальных контактов. История науки убеждает, что здесь есть свои закономерности, сохраняющие информационные потоки, если они того стоят. В этой статье мы публикуем шесть писем и фотографии российского кристаллографа и ми-

нералог д. г.-м. н. Е. В. Цинзерлинг, найденные в личном архиве Д. П. Григорьева, хранящемся в Российском минералогическом обществе. Ее работы по кварцу хорошо известны специалистам, но к творческому портрету есть что добавить.

Творческое начало

Екатерина Владимировна Цинзерлинг родилась в Санкт-Петербурге в 1887 г. в купеческой семье, происходившей из Швейцарии. В 1906 г. закончила Петришуле, в 1907 г. получила диплом учительницы младших классов. В это время Е. В. Цинзерлинг увлеклась танцами в манере Айседоры Дункан и с выпускницами той же гимназии организовала «Гептахор» — «семеро танцующих» (древнегреч). С 1918 г. группа в составе С. Рудневой (рук.), Е. Цинзерлинг, Н. Энман, Ю. Тихомировой, И. и К. Тревер и Н. Петьковой выступала в городах России, с 1922 г. как частное предприятие. В 1920-х «Гептахор» был очень известен, в 1927 г. даже получил статус Государственной студии музыкального движения. Но в 1928 г. прекратил существование (рис. 1).

Нам известен еще один пример, говорящий о склонности минералогов и кристаллографов к танцу. В воспоминаниях Е. Б. Халезовой о жизни на «Тиетте» читаем: «С наступлением осени все отряды собирались на Горной станции, и перед отъездом сотрудников в Ленинград устраивалась отчетная конференция и прощальный бал. Пока шли заседания в холле, мы, дети, выходили из своей комнаты на балюстраду на цыпочках и отправлялись гулять. На другой день устраивался бал. Приглашались из Хибиногорска повара. Целый день из кухни доносились соблазнительные запахи, а к вечеру в холле накрывался большой стол и начиналось веселье. <...> Ольга Анисимовна Воробьева и моя мама, Ирина Дмитриевна Борнеман-Старынкевич, заключили пари, кто быстрее сошьет себе бальное платье из цветастых головных платков. Мама опередила Ольгу Анисимовну, но зато у той платье было ярче и выглядело более эффектно. Премии получили обе — одна за скорость исполнения, другая за изящество. А по-

том Ольга Анисимовна в этом платье виртуозно исполнила танец на столе среди рюмок, не уронив ни одной из них» (Халезова, 2020, с. 95–96).

Что и говорить, случай забавный. Но вспомним гейдельбергского отшельника В. М. Гольдшмидта, стремившегося изложить в едином «законе компликации» музыкальную гармонию и последовательность образования граней на кристаллах. Сомневающихся отсылаем к замечательной книге (Белов, Шефталъ, 1980), в которой под одним углом зрения рассмотрены вопросы теории симметрии, ее проявления в минеральной и живой природе, а также в поэзии, музыке и танце.

Из научной биографии

О научном пути нашей героини написано мало и вскользь: «Сперва А. В. Шубников и Г. Г. Леммлейн трудились вдвоем, затем появился ряд сотрудников (среди них — Е. В. Цинзерлинг, впоследствии замечательная исследовательница кварца...)» (Шафрановский, 1996, с. 24). Краткая, но последовательная информация помещена на сайте Института кристаллографии РАН.

В 1909–1910 гг. Е. В. Цинзерлинг обучалась на Высших женских курсах, причем сразу на физико-математическом и историко-филологическом факультетах. Ради завершения классического образования побывала в Швейцарии (1909) и Греции (1914). Путь в кристаллографию и минералогию был непростым. С 1916 г. работала на Путиловском заводе, с 1918 г. — научно-технический сотрудник КЕПС, с 1920 г. — сотрудник Института истории материальной культуры. С 1926 г. — в Минералогическом музее. Под руководством А. Е. Ферсмана участвует в экспедициях на Урал и в Хибины, описывает минералогические коллекции (Цинзерлинг, 1967). В 1930 г. А. В. Шубников предложил ей заняться фигурами удара на кварце, проблема обозначена им еще в 1926 году (Шубников, 1926). Метод ориентации кварцевых галек по трещинам был очень нужен радиопромышленности. Их совместные работы 1930–1931 гг. стали классическими и породили широкое научное направление, в котором и развивалось



Рис. 1. Е. Цинзерлинг (в центре) и Н. Энман (справа), 1920-е гг. (а). Е. Цинзерлинг, 1926 г. (б) Из архива Д. П. Григорьева.
Fig. 1. E. Zinzerling (in the center) and N. Enman (on the right), 1920s (a). E. Zinzerling, 1926 (b). From D. P. Grigoriev's archive



дальнейшее научное творчество Е. В. Цинзерлинг. С начала 1930-х она работала в Минералогическом институте, переименованном в 1932 г. в Институт геохимии, кристаллографии и минералогии имени М. В. Ломоносова (ЛИГЕМ). В 1934 г. институт был переведен из Ленинграда в Москву. В 1937 г. за счет кристаллографического отдела ЛИГЕМ был организован Институт кристаллографии АН СССР, в котором до конца жизни и проработала Е. В. Цинзерлинг.

Е. В. Цинзерлинг впервые связала степень двойникования кварца с окраской, т. е. с примесями. Это привело ее к способу управления явлением. Стало возможным получать двойники определенной конфигурации и монокристаллы из sdвойникового кварца. Открытие легло в основу технологии получения монокристаллических пластин из природного материала. В 1941 г. ею найден метод управления двойникованием кварца при полиморфном превращении $\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$. В 1950 г. обнаружен «эффект памяти» — возврат двойникового рисунка на монокристаллических пластинках. В середине 1950-х выполнены эксперименты по влиянию на двойникование электрических полей и деформаций кручения.

Но наиболее известны среди минералогов работы Е. В. Цинзерлинг о спайности кварца. Ею показано, что в нормальных условиях преобладает спайность по отрицательному ромбоэдру. «Загадочная» пинакоидальная спайность проявляется в электрическом поле*. В 1959 г. богатый экспериментальный материал обобщен в докторской диссертации**, опубликованной в виде монографии (Цинзерлинг, 1961). Диссертация и последующие публикации Е. В. Цинзерлинг не могли пройти мимо Д. П. Григорьева, одного из ведущих российских минералогов. Об этом в его личном архиве сохранились письма***.

Московский ордена Ленина проф. Дмитрию Павловичу
государственный университет Григорьеву
им. М. В. Ломоносова
Геологический факультет
15.II.58

Ученый совет Геологического факультета Московского университета направляет Вам для ознакомления автореферат докторской диссертации Ек. Вл. Цинзерлинг. Защита диссертации состоится 20 февраля 1959 г.

* Вот забавный исторический эпизод о поездке Н. И. Кокшарова в Париж в 1857 г. «Известный французский минералог А. Деклуазо пригласил Кокшарова вместе с молодым итальянским ученым К. Селлой посмотреть богатое минералогическое собрание коллекционера Ашара. В этой коллекции хранился кристалл горного хрусталя, на котором будто бы была грань пинакоида, как правило, не встречающегося на кварце. Осмотр кристалла показал, однако, что он не представлял ничего особенного. Плоскость, принимавшаяся Ашаром за грань пинакоида, оказалась неровной поверхностью, получившейся в результате срастания нескольких кварцевых кристаллов» (Шафрановский, 1964).

** Цинзерлинг Е. В. Морфологическое исследование искусственного двойникования кварца под воздействием различных факторов. Автореф. дис. на соискание уч. ст. д. г.-м. н. — М.: Ин-т кристаллографии АН СССР, 1958. 35 с.

*** Правописание приведено к современным нормам.

Отзыв на автореферат направляйте по адресу: Москва, 234, Ленинские горы, Геологический факультет.

/ Ученый секретарь (подпись)

(Напечатано на бланке, фамилии и дата защиты — синими чернилами от руки. Флэш перед должностью обозначал «за», ныне не ставится. — Ю. В.)

Всесоюзный научно-исследовательский
институт пьезооптического минерального сырья
28.IX.62, исх. 2233

Многоуважаемый Дмитрий Павлович!

Всесоюзный научно-исследовательский институт пьезооптического минерального сырья просит Вас научно отредактировать и дать рецензию на (подчеркнуто в оригинале — Ю. В.) статью Е. В. Цинзерлинг «Влияние примесей Li, Na, Ge, Al на двойникование искусственного кварца». Статью и рецензию просьба вернуть к 20 октября 1962 г.

/ Зам. директора ВНИИП по научной части (подпись) Н. Меркурьев.

(На бланке, вписано синими чернилами. Вверху — простым карандашом рукой Д. П. Григорьева: «Торопливо написано, небрежная библиография». — Ю. В.)

Всесоюзный научно-исследовательский
институт пьезооптического
минерального сырья (7.II.63, 28.II.63)
3.I.63, исх. 15 Д. г.-м. н., профессору Д. П. Григорьеву
Многоуважаемый Дмитрий Павлович!

В портфель «Трудов ВНИИП» поступила статья д. г.-м. н. Е. В. Цинзерлинг «Двойникование искусственного кварца, выращенного без добавок примесей». Большая просьба к Вам дать научную рецензию на эту статью.

Приложение: статья т. Цинзерлинг на 8 стр. с 7 рис.
Зам. директора ВНИИП по научной части

(подпись) Н. Меркурьев
(На бланке, подпись синими чернилами от руки. — Ю. В.)

5.IV.63 (12.IV.63, 12.IV.63)
Уважаемый Дмитрий Павлович!

По предложению Н. Д. Меркурьева очень прошу Вас не отказать в любезности дать рецензию на статью А. А. Щеколдина «Метаморфизм жильного кварца и генезис его разновидностей». Если можно, то не позже 25 апреля.

Извините нас за то, что Вам не оплачена работа по рецензированию и редактированию статьи Е. В. Цинзерлинг «Двойникование искусственного кварца, выращенного без добавок примесей», т. к. у меня нет Вашего счета, вероятно, его забыли вложить в конверт. Будьте любезны, заполните оба счета и вышлите со статьей.

С уважением к Вам, Т. Горяинова.

(Написано синими чернилами от руки. — Ю. В.)

Письма

В письмах Е. В. Цинзерлинг отражены этапы ее творческой биографии. Почерк крупный, но довольно трудный для расшифровки. Одна лишь буква «т» встречается в трех вариантах, заимствованных из разных языков и употребляемых в зависимости от ситуации, вероятно, ради беглости письма. А это уже говорит



о характере. Справа сверху (выше и ниже дано в скобках) Д. П. Григорьев обычно отмечал даты получения и ответа на письмо. Остается сожалеть об отсутствии ответов, что не позволяет выстроить диалог.

28.X.58 (16.XI.58, 5.XII.58)

Глубокоуважаемый Дмитрий Павлович!

Жаль, что мне не удалось побеседовать с Вами о спайности кварца в Ваш последний приезд в Москву. Интересно, что кварц колется в природных условиях преимущественно по /10–11/, а экспериментально под сосредоточенной нагрузкой лучшая «спайность» в фигурах удара проявляется по /1–101/. Это было доказано нами с Алексеем Васильевичем (Шубниковым — Ю. В.) в 1933 году /Тр. Лом. ин-та, вып. 3/ (см. статьи (Цинзерлинг, Шубников, 1933; Шубников, Цинзерлинг, 1933; Zinserling, Shubnikov, 1933) — Ю. В.), где оговорена ошибочность принятой плоскости /10–11/ в работе А. В. 1930 года, цитируемой Вами: на самом деле трещины в фигурах удара параллельны плоскости /1–101/; они служат для кристаллографической ориентировки кварца в производстве. [Можно было бы говорить еще о Блоссе, Ферберне, углубляясь до Маляра. Терч справедливо отмечает, что разные условия диктуют разные плоскости разрыва. Но тогда пришлось бы и писать долго, и читать скучно].

С искренним приветом (подпись)

(Напечатано на машинке, квадратные скобки и подпись «Ек. Цинзерлинг» в конце — синими чернилами от руки. — Ю. В.)

10. XII.58

Глубокоуважаемый Дмитрий Павлович!

Как Ваше здоровье? Надеюсь, что Карловы Вары подкрепили Ваше здоровье, а встречи с чехословацкими учеными были интересными и приятными. Посылаю Вам свой автореферат, мж. б. Вам будет интересно ознакомиться с краткой сводкой моих работ. К концу года я надеюсь закончить монографию; она будет более удобочитаемой, чем диссертация, и я мечтаю о завершении незаконченных исследований и брошенных из-за невозможности одновременно писать и экспериментировать; может быть, и они попадут в монографию.

Была бы Вам бесконечно признательна, глубокоуважаемый Дмитрий Павлович, если бы Вы написали несколько строк — отзыв о рентабельности и некотором значении моих исследований для минералогов. Чувствую себя как в пустыне — аки страшно — все грунтоведы, геофизики и лютые геологи чистой воды, которым совсем неинтересна моя тематика; а они ведь должны меня приобщить к лику «геолого-минералогических наук»! Как они будут открывать свои «врата царствия» незнакомому претенденту, если не представят его им известные ученые? (Намек на предстоящую трудную защиту в геологическом диссертационном совете. — Ю. В.)

Примите мои лучшие пожелания, доброго Вам здоровья! Приношу Вам заранее свою искреннюю благодарность в надежде того, что Вы не откажете мне в моей просьбе, вымолвленной несмотря на Вашу большую загруженность...

С приветом (подпись)

(Напечатано на машинке, подпись — синими чернилами от руки. — Ю. В.)

9.XI.61

(15.XI.61)

Глубокоуважаемый Дмитрий Павлович!

Вы, конечно, будете у нас в ин-те 22.XI? Непременно будете! Ваш 60-летний друг был бы опечален — не видя Вас среди своих многолетних друзей. Милый Дмитрий Павлович, помогите нам Вашим словом, Вашими воспоминаниями о Георгии Глебовиче (Леммлейне — Ю. В.) в сей знаменательный день. Скажете слово? Да! Будем Вас ждать*.

С искренним приветом (подпись)

(Написано синими чернилами от руки — Ю. В.)

30.I.62

(8. II.62)

Дорогой Дмитрий Павлович!

Горячо благодарю Вас за Вашу чрезвычайно интересную книгу. С удовольствием ее просматриваю, только что вернувшись из отпуска и поэтому только что ее получившая. Как грустно, что столь достойное содержание и столь изумительно подобранные, ценные, хорошие фотографии так плохо изданы... Вы, как автор, больше всех огорчаюсь, но читатели сумеют истинно оценить всю прелесть и новизну Вашей книги. (Речь идет об «Онтогении минералов» (Григорьев, 1961 — Ю. В.)

От души желаю Вам в 1962 г. не только здоровья, благополучия, радостного настроения — столь способствующего плодотворности творческой мысли, но и реальное ее воплощение в прекрасную форму, дабы мы все могли приобщиться к Вашему богатому внутреннему миру Ваших (подчеркнуто автором — Ю. В.) научных идей. А Вы ведь к тому еще и большой художник, понимающий цену эстетического отбора!

С искренним приветом! (Подпись).

(Написано синими чернилами от руки — Ю. В.)

6.IX.62

(22.IX.62)

Дорогой Дмитрий Павлович!

Сердечно тронута Вашим вниманием и горячо благодарю за присланную Вашу новинку. Вы непрестанно движетесь впереди передового фланга в научных изысканиях! Это вызывает во мне глубокое уважение к Вам — и все это при Вашей тонкой и хрупкой структуре; не подрывайте своего здоровья, Дмитрий Павлович! Какой невероятный труд Вы вложили в эту Вашу новую — неоценимо полезную (подчеркнуто автором — Ю. В.) — книгу! Она откроет глаза многим геолого-минералогам в их подходе к минералам. Все так четко, ясно и наглядно изложено и красиво подано. Поздравляю. (Речь идет об «Основах конституции минералов» (Григорьев, 1962 — Ю. В.)

Г. Г. (Леммлейн — Ю. В.) уехал с П. Ефр. на Кавказ — «погреться». Он — бедный — опять так трудно болел,

* Текст этого письма странный. Начало будто бы намекает на юбилей Г. Г. Леммлейна, но 60 лет исполнилось ему 23.08.1961 г. Далее — как будто речь идет об умершем человеке: «...Помогите нам Вашим словом, Вашими воспоминаниями о Георгии Глебовиче...». Но он умер ровно через год 15.11.1962 г. Об этом сохранилась телеграмма: «Москвы 333/06 19 16 0950 Ленинград В. О. 15 линия 34 кв. 15 Григорьеву Д. П. Днем 15 ноября скончался Георгий Глебович Леммлейн сотрудники». Может быть, на 22.11.1961 г. был намечен его отложенный юбилей? В последнее время он сильно болел и осенью выезжал на Кавказ «погреться», см. об этом письмо от 06.IX.1962 г.



и опять его вытянула из этого неожиданного прорыва Полина Ефремовна благодаря своей просвещенности в медицине и прекрасному уходу.

Наш и-тут стоит на месте в это глухое время отпусков, хотя и запущен на скоростное вращение вокруг ура-проблем.

Мне удалось искупить наши ежедневные дожди созерцанием древнерусской архитектуры и фресковой живописи по «святым местам» [Владимир, Суздаль, Ростов, Боголюбково, Юрьев Польский, Вологда, Кириллов, Ферапонтово, Ярославль]; скакала на автобусах по ухабам, мчалась на поездах, такси, мерзла на пароходе... и тем не менее получила огромное наслаждение от этого древнего зодчества, от красот этих разбросанных по Руси «градов Китежей».

Будьте здоровы, желаю Вам и Вашей семье всякого благополучия! С искренним приветом. (Подпись).

(Написано синими чернилами от руки — Ю. В.)

2.III. 64 (6.III.64, 12.III.64)

Глубокоуважаемый Дмитрий Павлович!

Не думайте, что я забыла о Вашей просьбе — нет, я все время мучалась задержкой фотографий: их надо было достать из-под спуда, переснять, установить дату, распознать участников, переснять вторично. (Д. П. Григорьев собирал фотографии минералогов, внесших заметный вклад в науку и практику, не стесняясь проявлять настойчивость. — Ю. В.)

Давно не видела С. В. Грум (С. В. Грум-Гржимайло — Ю. В.), она тоже просила меня передать Вам свои извинения по этому же поводу. Ее хорошую фотографию я Вам не посылаю, вероятно, она приложила уже сама ее. Будьте здоровы! (Подпись)

(Отпечатано на машинке, подпись синими чернилами от руки. — Ю. В.)

Заключение

Е. В. Цинзерлинг — замечательный пример цельной творческой личности, органично сочетавшей в себе естественно-научное и гуманитарное образование с высокой интеллигентностью. Для нее было естественно переходить от жизни к природе, от науки к искусству, ориентируясь на высокие (древнегреческие?) образцы. Это убедительно следует из ее научных трудов, воспоминаний и личной переписки с Д. П. Григорьевым. Приведенные в статье материалы существенно дополняют и оживляют ее биографию, наполненную всесторонними исследованиями природного и синтетического кварца с результатами мирового уровня, реализованными в промышленных технологиях. Она скончалась в 1979 г. в Москве и похоронена рядом с матерью и сестрой на 4 участке Новодевичьего кладбища.

Личные архивы выдающихся ученых — ценный источник информации о событиях, людях, их характерах, наклонностях, симпатиях и антипатиях... До поры личная корреспонденция не подлежит публикации, но со временем становится документом, вскрывающим на определенном историческом срезе подводную часть огромного и сложно устроенного социального айсберга, коротко называемого «наука». Архив профессора Д. П. Григорьева в письмах от коллег из разных организаций (геологических партий, университетов, научно-исследовательских институтов, Академии наук СССР

и союзных республик, зарубежных минералогических обществ и отдельных ученых, и т. д.) и других документах (протоколах, программах, стенограммах конференций и др.) отражает целый пласт до- и послевоенной истории отечественной минералогии и кристаллографии. Тема исследований природного и синтетического кварца будет продолжена в подготовленных к публикации письмах д. г.-м. н. Г. Г. Леммлейна, неоднократно упоминаемого Е. В. Цинзерлинг.

Автор благодарит рецензентов за полезные замечания и уточнения.

Литература / References

- Белов Н. В., Шефталъ Н. Н. (Ред.) Узоры симметрии. М.: Мир, 1980. 271 с.
Belov N. V., Sheftal N. N. (Eds.) *Uzory simmetrii* (Symmetry patterns). Moscow: Mir, 1980, 271 p.
- Григорьев Д. П. Онтогенез минералов. Львов: Изд-во Львов. ун-та, 1961. 281 с.
Grigoriev D. P. *Ontogeniya mineralov* (Ontogeny of minerals). Lvov: University Press, 1961, 281 p.
- Григорьев Д. П. Основы конституции минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 63 с.
Grigoriev D. P. *Osnovy konstitucii mineralov* (Fundamentals of the constitution of minerals). Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1962, 63 p.
- Халезова Е. Б. Дорога длиною в жизнь. М.: Наука, 2020. 607 с.
Khalezova E. B. *Doroga dlinnoyu v zhizn* (The road of a lifetime). Moscow: Nauka, 2020, 607 p.
- Цинзерлинг Е. В. Искусственное двойникование кварца. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 160 с.
Zinserling E. V. *Iskusstvennoye dvojnikovaniye kvartsa* (Artificial twinning of quartz). Moscow: Acad. Sci. USSR, 1961, 160 p.
- Цинзерлинг Е. В. Ферсман, каким я его знала // Природа. 1967. № 8. С. 99—103.
Zinserling E. V. *Fersman kakim ya ego znala* (Fersman as I knew him). Priroda, 1967, No. 8, pp. 99—103.
- Цинзерлинг Е. В., Шубников А. В. О «пластичности» кварца // Труды Ломоносовского института геохимии, кристаллографии и минералогии АН СССР. Серия: кристаллография. 1933. № 3. С. 51—66.
Zinserling E. V., Shubnikov A. V. O "plastichnosti" kvartsa (On the «plasticity» of quartz). Proceedings of Lomonosov Institute for Geochemistry, Crystallography & Mineralogy of USSR Academy of Sciences, Series Crystallography, 1933, No. 3, pp. 51—66.
- Шафрановский И. И. Николай Иванович Кокшаров. М.; Л.: Наука, 1964. 216 с.
Shafranovsky I. I. *Nikolai Ivanovich Koksharov* (Nikolai Ivanovich Koksharov). Moscow; Leningrad: Nauka, 1964, 216 p.
- Шафрановский И. И. Кристаллография в СССР. 1917—1991. СПб.: Наука, 1996. 191 с.
Shafranovsky I. I. *Kristallografiya v SSSR. 1917—1991* (Crystallography in USSR. 1917—1991). Saint Petersburg: Nauka, 1996, 191 p.
- Шубников А. В. Определение направления оптической оси в галке кварца // Доклады АН СССР. Серия: А. 1926. С. 12—14.
Shubnikov A. V. *Opredeleniye napravleniya opticheskoy osi v galke kvartsa* (Determination of the direction of the



- optical axis in quartz pebbles). Doklady of Academy of Sciences of USSR, Series A, 1926, pp. 12–14.
- Шубников А. В., Цинзерлинг Е. В. О фигурах удара и давления и о механических двойниках кварца // Труды Ломоносовского института геохимии, кристаллографии и минералогии АН СССР. Серия: кристаллография. 1933. № 3. С. 5–23.
- Shubnikov A. V., Zinserling E. V. *O figurakh udara i davleniya i o mekhanicheskikh dvoynikakh kvartsa* (On the figures of impact and pressure and on the mechanical twins of quartz). Proceedings of Lomonosov Institute for Geochemistry, Crystallography & Mineralogy of USSR Academy of Sciences, Series Crystallography, 1933, pp. 5–23.
- Zinserling K., Shubnikov A. *Über die Plastizität des Quarzes* // Z. Kristallogr. Ser. A. 1933. 85. No. 5–6. S. 454–461. (NB: инициал К. — от немецкого варианта Katharine имени Екатерина.)

Received / Поступила в редакцию 24.01.2023



Толбачинские алмазы (ТТИ-50, Камчатка): новое доказательство их вулканогенной природы

В. И. Силаев¹, Л. П. Аникин², Г. А. Карпов², А. Ф. Хазов¹

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; silaev@geo.komisc.ru, akhazov@geo.komisc.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский
alp@kscnet.ru, karpovga@kscnet.ru

На поверхности двух алмазов, извлеченных из продуктов Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. (ТТИ-50), обнаружены примазки безусловно вулканогенных фаз и микроминералов – силикатных, сульфатных, гидроксидных, оксидных и сульфидных с ясными онтогеническими признаками естественного нарастания на скульптурированную алмазную поверхность. Этот факт является очевидным подтверждением естественного вулканогенного происхождения толбачинских алмазов.

Ключевые слова: Камчатка, Трещинное Толбачинское извержение, алмазы, вулканогенное происхождение.

Tolbachik diamonds (TFE-50, Kamchatka): new evidence of volcanogenic nature

V. I. Silaev¹, L. P. Anikin², G. A. Karpov², A. F. Khazov¹

¹ Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky

We found deposits of undoubtedly volcanic phases and microminerals – silicate, sulfate, hydroxide, oxide, and sulfide – with clear ontogenic signs of natural growth on the sculpted surface of two diamonds extracted from the products of the Tolbachik Fissure Eruption 2012–2013 (TFE-50). This fact obviously confirms the natural volcanic origin of Tolbachik diamonds.

Keywords: Kamchatka, Tolbachik Fissure Eruption, diamonds, volcanogenic origin.

Введение

Первые алмазы в продуктах побочного извержения Толбачика (ТТИ-50) были обнаружены в декабре 2012 г., еще до затухания его активности (Аникин и др., 2013; Галимов и др., 2016; Гордеев и др., 2014; Гордеев и др., 2019). Практически сразу после этого объявились скептики, выдвинувшие версию об искусственном происхождении этих алмазов, оказавшихся в продуктах извержения в результате либо техногенного аэрозольного загрязнения (например, вследствие воздушного переноса из Китая, где взорвался завод по выращиванию алмазов – академик Н. Л. Добрецов), либо сознательного их подбрасывания (Похиленко и др., 2019; Litasov et al., 2019). В действительности же толбачинские алмазы, как по месту, времени и способу обнаружения, так и по своим свойствам являются вполне природными, хотя и генетически особенными. На последнее указывают многие их свойства (Гордеев и др., 2014; Силаев и др., 2015, 2019): плоскогранно-кубооктаэдрический габитус с аксессуарными гранями ромбододекаэдра {110}, тетрагонтриоктаэдра {131}, тригонтриоктаэдра {332}; зональная анатомия с октаэдрическим зародышем в центре и кубооктаэдрической оболочкой;

присутствие на гранях алмаза пирамидальных ямок с индукционными поверхностями совместного роста алмаза и ксеноминеральных включений; примазки и микропенки на поверхности алмазов, сложенные силикатами, сульфатами, металлическими сплавами взрывного происхождения; типичная именно для природных алмазов ассоциация микроэлементов; точечный, абсолютно неагрегированный характер азотных структурных дефектов; глубинно-метановый изотопный состав углерода с изотопным коэффициентом в пределах $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -28...-22\text{‰}$ ($-25.2 \pm 1.4\text{‰}$), практически совпадающий с изотопным составом углерода в парагенетических алмазах углеродных фаз (графите, диуглероде, шунгитоподобном УВ, органоидах), карбидах и в дисперсно-рассеянном непосредственно в вулканиках углеродном веществе. Обобщение результатов комплексных исследований привело нас к выводу о том, что толбачинские алмазы представляют собой ранее неизвестный генетический тип внемантийных вулканоатмозлектрогенных алмазов, образовавшихся непосредственно в вулканическом пеплогазовом облаке за счет глубинного метана в результате атмосферных электрических разрядов.

Для цитирования: Силаев В. И., Аникин Л. П., Карпов Г. А., Хазов А. Ф. Толбачинские алмазы (ТТИ-50, Камчатка): новое доказательство их вулканогенной природы // Вестник геонаук. 2023. 2(338). С. 37–41. DOI: 10.19110/geov.2023.2.5

For citation: Silaev V. I., Anikin L. P., Karpov G. A., Khazov A. F. Tolbachik diamonds (TFE-50, Kamchatka): new evidence of volcanogenic nature. Vestnik of Geosciences, 2023, 2(338), pp. 37–41, doi: 10.19110/geov.2023.2.5

Новым подтверждением природного происхождения толбачинских алмазов служит недавняя находка на их поверхности атакамитоподобных гидроксидов меди и других микроминералов, весьма типоморфных именно для продуктов современного континентального и океанического вулканизма (Карпов и др., 2016; Добрецова и др., 2022; Силаев и др., 2021). Эти алмазы были извлечены из везикул пористого трахибазальта, отобранного из лавы, излившейся через «Прорыв Набоко». Место отбора образца находилось вблизи фронта лавового потока приблизительно в 9 км от прорыва. На поверхности застывшей свежей лавы было много трещин с интенсивными выходами газов с температурой 300–500 °С, в состав которых входили N_2 , CO_2 , CO , Ar , H_2 , CO_2 , H_2S , CH_4 и другие углеводороды. В порах, кавернах и трещинах андезитобазальтов присутствовали присыпки минерального вещества зеленого, черного, белого, синего и желтоватого цвета. В лабораторных условиях вещество присыпок было выделено из лавы посредством вытряхивания (метод «тук-тук»). Именно в полученной таким образом порошковой массе и были обнаружены алмазы с примазками на поверхности весьма характерных для вулканических эксплозий фаз и минералов.

Объект и результаты исследований

Объектом исследований послужили два угловатых алмаза. Первый алмаз размером 182×127 мкм (рис. 1, а–б) имеет на поверхности микрогнездовое

полиминеральное выделение размером 27×22 мкм, сложенное агрегатом сросшихся минерально-фазовых частиц субмикронного размера (1.65 ± 0.87 мкм). На поверхности второго алмаза размером 190×142 мкм (рис. 1, с–д) наблюдаются два участка с полиминеральными примазками: относительно крупный (60×10 мкм), вытянутый вдоль микроскульптурного уступа, и более мелкий (10×8 мкм) субизометричный с размером минерально-фазовых частиц (1.59 ± 1) мкм. В ходе анализа минерально-фазовые частицы в примазках оказались мельче полей рентгеноспектрального микрозондирования, поэтому результаты получились смешанно-минеральными (табл. 1).

Обобщение полученных данных приводит к следующему выводу. Микроминеральный состав примазок, обнаруженных на поверхности толбачинских алмазов, оказался довольно однообразным, включая вулканогенную стеклофазу; магнезиальный оливин состава $(Mg_{1.82-1.86}Fe_{0.14-0.18})_2[SiO_4]$, или в минеральной форме — $Fe_{0.91-0.93}$; халькокианит $(Cu_{0.86-1}Zn_{0-0.02}Ca_{0-0.09}Fe_{0-0.01}K_{0-0.01})_{0.99}[SO_4]$; тенорит CuO , бунзенит $(Ni_{0.83-0.88}Cu_{0-0.13}Mn_{0.04-0.11}Fe_{0-0.04})O$ и предположительно касситерит SnO_2 ; параатакамит состава $(Cu_{1.92-1.95}Zn_{0.05-0.08})_2Cl_{1.02-1.24}Br_{0-0.05}[SO_4]_{0.03-0.13}(OH)_{1.78-2.84}$; сульфат $Ni[SO_4]$; вилламанинит CuS_2 . Практически все эти фазы и минералы вполне соответствуют именно эксплозивному минеральному парагенезису, выявленному на Толбачинском и других камчатских и курильских вулканах (Карпов и др., 2014, 2017; Силаев и др., 2019b, 2021).

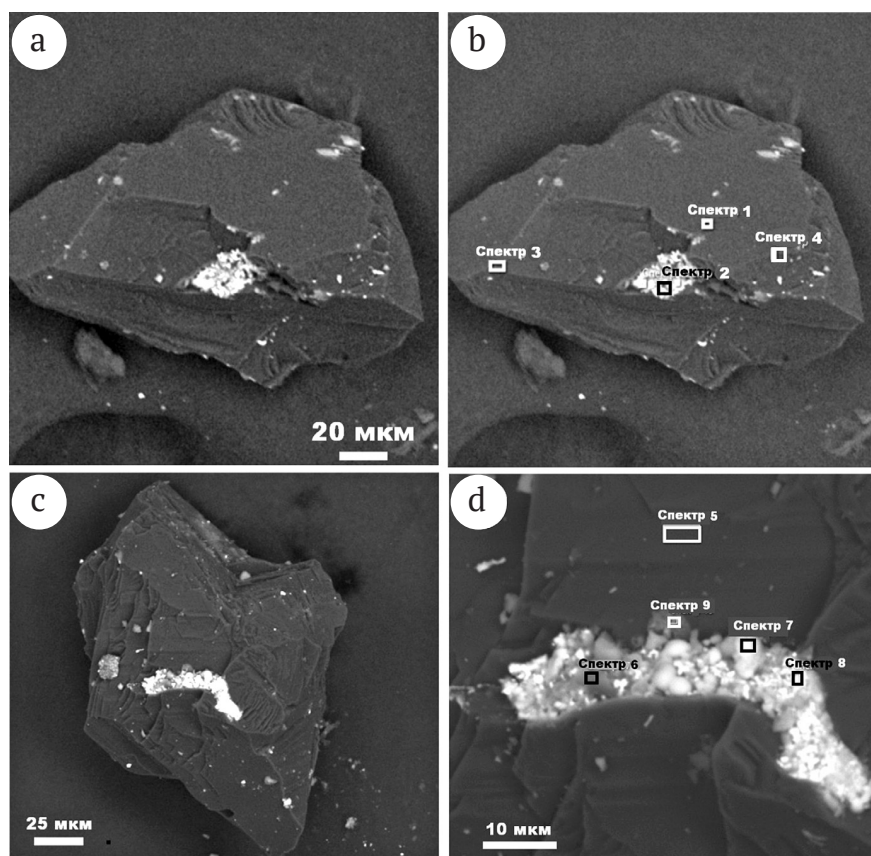


Рис. 1. СЭМ-изображения толбачинских алмазов с примазками вулканогенных микроминералов на поверхности (светлое). На б, д показаны участки рентгеноспектрального микрозондирования

Fig. 1. SEM images of Tolbachik diamonds with traces of volcanogenic microminerals on the surface (light). Figures b, d show sections of X-ray spectral microprobe



Таблица 1. Химический состав микроминеральных примазок на поверхности толбачинских алмазов, мас. %

Table 1. Chemical composition of micromineral deposits on the surface of Tolbachik diamonds, wt. %

№ п/п	SiO ₂	SnO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	NiO	CuO	ZnO	MgO	CaO	K ₂ O	SO ₃	Cl	Br
1	61.62	не обн.	не обн.	6.38	3.28	12.33	8.34	4.45	не обн.	не обн.	1.43	не обн.	2.17	не обн.	не обн.
2	56.5	«	«	4.84	6.32	не обн.	не обн.	4.96	«	42.41	0.73	0.78	1.46	«	«
3	56.93	«	«	7.69	5.82	«	«	3.93	«	20.66	1.56	1.69	1.1	«	«
4	15.52	«	«	0	4.7	«	«	57.48	1.52	не обн.	3.42	0.82	0.87	14.28	1.39
5	17.78	«	«	1.2	0.66	«	«	57.3	1.52	«	4.06	«	3.76	13.72	не обн.
6	20.29	«	«	не обн.	4.31	«	«	53.37	2.02	«	3.77	1.15	не обн.	15.09	«
7	22.2	«	1.62	3.48	2.22	«	«	50.97	1.86	«	3.59	не обн.	2.14	11.92	«
8	32.55	«	не обн.	не обн.	3.46	«	«	37.85	1.4	«	4.24	1.32	не обн.	19.18	«
9	20.28	«	«	«	4.32	«	«	53.38	2.02	«	3.77	1.15	«	15.08	«
10	22.19	«	1.63	3.46	2.22	«	«	50.97	1.86	«	3.61	«	2.15	11.91	«
11	15.6	«	не обн.	не обн.	4.24	«	«	57.77	1.53	«	3.44	0.83	0.87	14.33	1.39
12	17.58	«	«	2.37	0.58	«	«	56.66	1.5	«	4.02	не обн.	3.72	13.57	не обн.
13	не обн.	«	«	не обн.	«	«	«	75.11	2.85	«	не обн.	«	не обн.	22.04	«
14	1.43	«	«	0	0.4	«	«	42.98	1.14	«	3.16	0.34	50.55	не обн.	«
15	1.81	«	«	6.44	1.41	3.04	75.56	5.12	не обн.	«	не обн.	не обн.	5.82	«	«
16	13.34	2.07	«	5.52	2.94	6.8	62.64	не обн.	«	4.01	1.76	«	0.92	«	«
17	10.63	не обн.	«	11.38	не обн.	2.66	61.05	9.55	«	не обн.	не обн.	«	4.73	«	«

Не обн. — not found.

Эмпирические формулы/Empirical formulas:

- 1 — 0.74 стеклофаза (glass phase) + 0.23 (Mn_{0.52}Ni_{0.23}Cu_{0.16}Fe_{0.13})O + 0.03 Ni[SO₄];
- 2 — 0.21 стеклофаза (glass phase) + 0.73 (Mg_{1.86}Fe_{0.14})₂[SiO₄] + 0.02 Cu[SO₄] + 0.04 CuO;
- 3 — 0.49 стеклофаза (glass phase) + 0.47 (Mg_{1.82}Fe_{0.18})₂[SiO₄] + 0.02 Cu[SO₄] + 0.02 CuO;
- 4 — 0.2 стеклофаза (glass phase) + 0.8 (Cu_{1.95}Zn_{0.05})₂Cl_{1.1}Br_{0.05}[SO₄]_{0.03}(OH)_{2.79};
- 5 — 0.2 стеклофаза (glass phase) + 0.8 (Cu_{1.95}Zn_{0.05})₂Cl_{1.06}[SO₄]_{0.13}(OH)_{2.68};
- 6 — 0.3 стеклофаза (glass phase) + 0.7 (Cu_{1.93}Zn_{0.07})₂Cl_{1.24}(OH)_{2.76};
- 7 — 0.35 стеклофаза (glass phase) + 0.65 (Cu_{1.93}Zn_{0.07})₂Cl_{1.02}[SO₄]_{0.08}(OH)_{2.82};
- 8 — 0.29 стеклофаза (glass phase) + 0.71 (Cu_{1.93}Zn_{0.07})₂Cl_{2.22}(OH)_{1.78};
- 9 — 0.3 стеклофаза (glass phase) + 0.7 (Cu_{1.92}Zn_{0.08})₂Cl_{1.24}(OH)_{2.76};
- 10 — 0.26 стеклофаза (glass phase) + 0.74 (Cu_{1.93}Zn_{0.07})₂Cl_{1.02}[SO₄]_{0.08}(OH)_{2.82};
- 11 — 0.25 стеклофаза (glass phase) + 0.75 (Cu_{1.95}Zn_{0.05})₂Cl_{1.1}[SO₄]_{0.03}(OH)_{2.84};
- 12 — 0.26 стеклофаза (glass phase) + 0.74 (Cu_{1.95}Zn_{0.05})₂Cl_{1.06}[SO₄]_{0.13}(OH)_{2.68};
- 13 — (Cu_{1.93}Zn_{0.07})₂Cl_{1.28}(OH)_{2.72};
- 14 — 0.02 стеклофаза (glass phase) + 0.98 (Cu_{0.86}Zn_{0.02}Ca_{0.09}Fe_{0.01}K_{0.01})_{0.99}[SO₄];
- 15 — 0.11 стеклофаза (glass phase) + 0.11 Ni[SO₄] + 0.78 (Ni_{0.88}Cu_{0.06}Mn_{0.04}Fe_{0.02})O;
- 16 — 0.32 стеклофаза (glass phase) + 0.02 Ni[SO₄] + 0.65 (Ni_{0.86}Mn_{0.1}Fe_{0.04})O + 0.01 SnO₂;
- 17 — 0.28 стеклофаза (glass phase) + 0.08 Ni[SO₄] + 0.64 (Ni_{0.83}Cu_{0.13}Mn_{0.04})O

Закключение

Проведенные исследования привели к обнаружению на поверхности двух алмазов, извлеченных из продуктов Трещинного Толбачинского извержения (ТТИ-50), примазок безусловно вулканогенных фаз и микроминералов — силикатных, сульфатных, гидроксидных, оксидных и сульфидных с ясными онтогенетическими признаками естественного нарастания на скульптированную алмазную поверхность.

Выявленный факт является очевидным подтверждением естественного вулканогенного происхождения толбачинских алмазов.

Литература

Аникин Л. П., Сокоренко А. В., Овсянников А. А., Сидоров Е. Г., Душин-Барковский Р. Л., Антонов А. В., Чубаров В. М. Находка алмазов в лавах Толбачинского извержения

- 2012–2013 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 20–23.
- Anikin L. P., Sokorenko A. V., Ovsyannikov A. A., Sidorov E. G., Dunin-Barkovsky R. L., Antonov A. V., Chubarov V. M. *Nakhodka almazov v lavakh Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg.* (Discovery of diamonds in the lavas of the Tolbachik eruption 2012–2013). Volcanism and related processes. Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS FEB RAN, 2013, pp. 20–23.
- Галимов Э. М., Севастьянов В. С., Карпов Г. А., Шиловцева С. Н., Максимов А. П. Алмазы в продуктах извержения вулкана Толбачик (Камчатка 2012–2013 гг.) и механизм их образования // Геохимия. 2016. № 10. С. 868–872.
- Galimov E. M., Sevastyanov V. S., Karpov G. A., Shilobreeva S. N., Maksimov A. P. *Almazы v produktakh izverzheniya vulkana Tolbachik (Kamchatka 2012–2013 gg.) i mekhanizm ikh obrazovaniya* (Diamonds in the products of the Tolbachik volcano eruption (Kamchatka 2012–2013) and the mechanism of their formation). Geochemistry, 2016, No. 10, pp. 868–872.
- Гордеев Е. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Кривовичев С. В., Филатов С. К., Антонов А. В., Овсянников А. А. Алмазы в лавах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. // Доклады РАН. 2014. Т. 454. № 2. С. 204–206.
- Gordeev E. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Krivovichev S. V., Filatov S. K., Antonov A. V., Ovsyannikov A. A. *Almazы v lavakh Treshchinnogo Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg.* (Diamonds in the lavas of the Tolbachik Fissure eruption 2012–2013). Reports of the Russian Academy of Sciences, 2014, V. 454, No. 2, pp. 204–206.
- Гордеев Е. И., Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Сухарев А. Е. Об истории открытия и природе алмазов в вулканических породах Камчатки // Вестник ПГУ. Геология. 2019. Т. 18. № 4. С. 307–331.
- Gordeev E. I., Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Vasiliev E. A., Sukharev A. E. *Ob istorii otkrytiya i prirode almazov v vulkanicheskikh porodakh Kamchatki* (On the history of the discovery and nature of diamonds in volcanic rocks of Kamchatka). Bulletin of PSU, Geology, 2019, V. 18, No. 4, pp. 307–331.
- Добрецова И. Г., Яговкина М. А. Минералы группы атакамита из рудопроявлений на дне Атлантического океана // Вестник геонаук. 2022. № 2. С. 37–45.
- Dobretsova I. G., Yagovkina M. A. *Mineraly gruppy atakamita ikh rudoproyavleniy na dne Atlanticheskogo okeana* (Minerals of the atacamite group from ore occurrences at the bottom of the Atlantic Ocean). Vestnik of Geosciences, 2022, No. 2, pp. 37–45.
- Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Вергасова Л. П., Макеев Б. А. Минералы из пеплов и эксгальсионных конденсатов алмазопродуктивных извержений вулканов ключевской группы на Камчатке // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения-2016). Сыктывкар: Геопринт, 2016. С. 36–38.
- Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Vergasova L. P., Makeev B. A. *Mineraly iz peplov i eksglyatsionnykh kondensatov almazoproduktivnykh izverzheniy vulkanov klyuchevskoy gruppy na Kamchatke* (Minerals from ashes and exhalation condensates of diamond-producing eruptions of volcanoes of the Klyuchevskaya group in Kamchatka). Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin Readings 2016). Sykttyvkar: Geoprint, 2016, pp. 36–38.
- Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Мохов А. В., Горностаева Т. А., Сухарев А. Е. Эксплозивная минерализация ТТИ-50 // Толбачинское трещинное извержение 2012–2013 гг. Новосибирск: Изд-во РАН, 2017. С. 241–255.
- Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Mokhov A. V., Gornostaeva T. A., Sukharev A. E. *Eksplzivnaya mineralizatsiya TTI-50* (Explosive mineralization of TFE-50). Tolbachik Fissure Eruption 2012–2013. Novosibirsk: Publishing House of the Russian Academy of Sciences, 2017, pp. 241–255.
- Карпов Г. А., Силаев В. И., Аникин Л. П., Ракин В. И., Васильев Е. А., Филатов С. К., Петровский В. А., Флеров Г. Б. Алмазы и сопутствующие минералы в продуктах Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2014. № 6. С. 3–20.
- Karpov G. A., Silaev V. I., Anikin L. P., Rakin V. I., Vasiliev E. A., Filatov S. K., Petrovsky V. A., Flerov G. B. *Almazы i soputstvuyushchiye mineraly v produktakh Treshchinnogo Tolbachinskogo Izverzheniya 2012–2013 gg.* (Diamonds and Associated Minerals in Products of the Tolbachik Fissure Eruption 2012–2013). Volcanology and seismology, 2014, No. 6, pp. 3–20.
- Похиленко Н. П., Шумилова Т. Г., Афанасьев В. П., Литасов К. Д. Находки алмазов на Камчатке (вулканы Толбачик и Авачинский): природный феномен или контаминация синтетическим материалом // Геология и геофизика. 2019. № 5. С. 605–608.
- Pokhilenko N. P., Shumilova T. G., Afanasiev V. P., Litasov K. D. *Nakhodka almazov na Kamchatke (vulkany Tolbachik i Avachinskiy): prirodnyy fenomen ili kontaminatsiya sinteticheskim materialom* (Diamond finds in Kamchatka (Tolbachik and Avachinsky volcanoes): natural phenomenon or contamination with synthetic material). Geology and Geophysics, 2019, No. 5, pp. 605–608.
- Силаев В. И., Аникин Л. П., Рашидов В. А., Филиппов В. Н., Хазов А. Ф., Макеев Б. А., Петрова В. В. Атакамит как продукт фумарольного минералообразования на современных вулканах // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Пермь, 2021. Вып. 24. С. 207–216.
- Silaev V. I., Anikin L. P., Rashidov V. A., Filippov V. N., Khazov A. F., Makeev B. A., Petrova V. V. *Atakamit kak produkt fumarol'nogo mineraloobrazovaniya na sovremennykh vulkanakh* (Atacamite as a product of fumarolic mineral formation on modern volcanoes). Problems of Mineralogy, Petrography and Metallogeny. Scientific readings in memory of P. N. Chirvinsky, Issue 24, Perm, 2021, pp. 207–216.
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Л. П., Смолева И. В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть I. Алмазы, углеродные фазы, конденсированные органиды // Вулканология и сейсмология. 2019а. № 5. С. 54–67.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Vasiliev E. A., Vergasova L. P., Smoleva I. V. *Mineral'no-fazovyy paragenезis v eksplozivnykh produktakh sovremennykh izverzheniy vulkanov Kamchatki i Kuril. Chast' I. Almazы, uglerodnyye fazy, kondensirovannyye organoidy* (Mineral-phase



- paragenesis in explosive products of recent eruptions of the volcanoes of Kamchatka and the Kuriles. Part I. Diamonds, carbon phases, condensed organoids). *Volcanology and seismology*, 2019a, No. 5, pp. 54–67.
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Вергасова Л. П., Филиппов В. Н., Тарасов К. В. Минерально-фазовый парагенезис в эксплозивных продуктах современных извержений вулканов Камчатки и Курил. Часть 2. Минералы-спутники алмазов толбачинского типа // *Вулканология и сейсмология*. 2019b. № 6. С. 36–49.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Anikin L. P., Vasiliev E. A., Vergasova L. P., Filippov V. N., Tarasov K. V. *Mineral'no-fazovyy paragenezis v eksplozivnykh produktakh sovremennykh izverzheniy vulkanov Kamchatki i Kuril. Chast' 2. Mineraly-sputnikialmazov Tolbachinskogo tipa* (Mineral-phase paragenesis in explosive products of recent eruptions of the volcanoes of Kamchatka and the Kuriles. Part 2. Minerals-satellites of diamonds of the Tolbachik type). *Volcanology and seismology*, 2019b, No. 6, pp. 36–49.
- Силаев В. И., Карпов Г. А., Ракин В. И., Аникин Л. П., Васильев Е. А., Петровский В. А. Алмазы в продуктах Трещинного Толбачинского извержения 2012–2013 гг. // *Вестник Пермского ун-та. Геология*. 2015. № 1. С. 6–27.
- Silaev V. I., Karpov G. A., Rakin V. I., Anikin L. P., Vasiliev E. A., Petrovsky V. A. *Almazy v produktakh Treshchinnoy Tolbachinskogo izverzheniya 2012–2013 gg.* (Diamonds in the Products of the Tolbachik Fissure Eruption of 2012–2013). *Bulletin of the Perm University, Geology*, 2015, No. 1, pp. 6–27.
- Litasov K. D., Kagi H., Voropaev S. A., Hira-ta T., Ohfuji H., Ishibashi H., Makino Y., Bekker T. B., Sevastyanov V. S., Afanasiev, V. P., Pokhilenko N. P. Comparison of enigmatic diamonds from the Tolbachik arc volcano (Kamchatka) and Tibetan ophiolites: Assessing the role of contamination by synthetic materials // *Gondwana Research*, 2019. V. 75. P. 16–27.

Received / Поступила в редакцию 30.12.2022

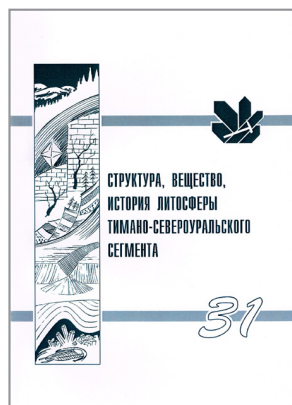
«Перспективы освоения Тимано-Печорской нефтегазовой провинции и планы постановки региональных геологоразведочных работ»

13 апреля в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН состоится очередное научно-производственное совещание. Оно организовано совместно с Департаментом по недропользованию по Северо-Западному федеральному округу на континентальном шельфе и в Мировом океане (Севзапнедра) и Комитетом по природным ресурсам, природопользованию и экологии Государственного совета Республики Коми. Будут рассмотрены итоги геологоразведочных работ на нефть и газ в 2022 г. и обсуждены планы на 2023 г. В мероприятии примут участие с докладами представители компаний основных недропользователей Республики Коми, ученые, представители профильных учреждений и министерств.

«Prospects for the development of the Timan-Pechora petroliferous province and plans for set up of regional geological exploration»

On April 13, a meeting on regional exploration works will be held at the Institute of geology FRC Komi SC UB RAS. The meeting is organised jointly with the Department of Subsoil Use for the North-West Federal District on the Continental Shelf and the World Ocean (Sevzapnedra) and the Committee for Natural Resources, Environmental Management and Ecology of the State Council of the Komi Republic. The results of geological exploration for oil and gas in 2022 will be considered, and plans for 2023 will be discussed. Representatives of the companies of the main subsoil users of the Komi Republic, researchers, representatives of relevant agencies and ministries will take part in the event with their reports.

Новые издания • New publications



УДК 5+549 (470.1)

Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 31-й научной конференции. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2022. 152 с.

В сборнике представлены материалы 31-й научной конференции «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента». Обсуждаются вопросы четвертичной геологии, изотопной геохронологии, инженерной геологии, литологии и седиментологии, петрографии, стратиграфии, геологии нефти и газа, геохимии, геофизики, палеонтологии, минералогии и региональной геологии.

Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-Northern Ural segment: Proceedings of the 31st scientific conference. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2022. 152 p.

The collection presents proceedings of the 31st scientific conference “Structure, substance, history of the lithosphere of the Timan-Northern Ural segment”. Quaternary geology, isotope geochronology, engineering geology, lithology and sedimentology, petrography, stratigraphy, oil and gas geology, geochemistry, geophysics, paleontology, mineralogy and regional geology are discussed.



Строматопороидеи силура севера Западного Урала и Приуралья. Екатеринбург: УрО РАН, 2022. 134 с.

ISBN 978-5-7691-2552-2

В работе излагаются результаты изучения силурийских стромато-пороидей на севере Западного Урала и Приуралья. Приведено монографическое описание 52 видов строматопороидей, принадлежащих к 19 родам.

Освещаются вопросы распространения силурийских строматопороидей на западном склоне Приполярного Урала, Северном Урале, поднятии Чернова, гряде Чернышёва. Описываются комплексы строматопороидей, характерные для определенных стратиграфических подразделений. Приводятся результаты исследования строматопороидей с палеоэкологических позиций и описываются их тафономические особенности.

Silurian stromatoporoids in the north of the Western Urals and Cis-Urals. Yekaterinburg: UB RAS, 2022. 134 p.

The paper presents results of the study of Silurian stromatoporoids in the north of the Western Urals and the Cis-Urals. A monographic description of 52 species of stromatoporoids belonging to 19 genera is given.

The questions of the distribution of Silurian stromatoporoids on the western slope of the Subpolar Urals, the Northern Urals, the Chernov Uplift, the Chernyshev Ridge are covered. The stromatoporoid assemblages characteristic of certain stratigraphic units are described. The results of the study of stromatoporoids from paleoecological positions are presented, and their taphonomic features are described.

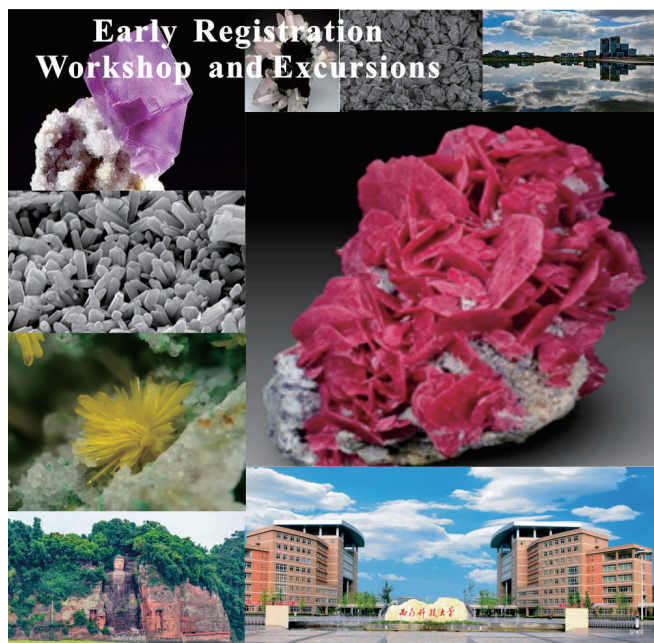


15th International Congress for Applied Mineralogy

First Circular

www.icam2023.swust.edu.cn

CALL FOR ABSTRACTS AND PAPERS



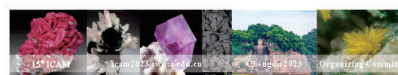
ABOUT ICAM2023 CONGRESS

The Local Organizing Committee of 15th ICAM has great pleasure to invite for the 15th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM) on August 20-23, 2023 in Chengdu, Sichuan, China. We look forward to the opportunity of welcoming delegates and providing you with an intellectually stimulating and socially memorable Congress.

Since its establishment in 1981, ICAM congress was constantly conducted for fourteen times in Asia, Europe, America, Australia, and Africa. This is the second time that China has been granted the opportunity to hold such important international conference related to applied mineralogy after the successful 11th ICAM 2013 in Mianyang. We believe that the congress will be a great success with the full support from the Chinese scientists and associations in communities of mineralogy.

The congress will be held at Sichuan Tianfu New Area Innovation Research Institute of SWUST in Chengdu, Sichuan Province. Chengdu has always enjoyed the reputation of being a "Heavenly Land of Plenty" since ancient times. Through an exciting range of pre and post Congress field trips, you can experience Chinese innovations and natural wonders.

The 15th ICAM congress is aimed at further strengthening worldwide academic exchange and cooperation in Applied Mineralogy, and offer a such platform for scientists and engineers to discuss recent research progress with a focus on future trends on applied mineralogy and promote interdisciplinary cooperation, furthermore, the congress provides a supporting program to encourage young delegates to attend.



CONGRESS THEMES

"Applied Mineralogy and future" is the theme of 15th ICAM, Contents as follows:

- T1** Environmental and medical mineralogy
- T2** Technological mineralogy, industrial minerals, mineral processing, and mining
- T3** Advanced mineral materials with improved characteristics, including technical ceramics and glass
- T4** Solid Waste Treatment and Recycling, including comprehensive utilization of non-metallic mineral resources
- T5** Nature-like materials based on mineral basis, biomineralogy
- T6** Advanced mineral analytical methods and techniques
- T7** Cultural heritage, artifacts, and their preservation
- T8** Travertine Sedimentary Evolution and Ecological Conservation
- T9** Applied Clay Mineralogy and Applications

TENTATIVE CONGRESS PROGRAM

Thursday August 20	Start	Friday August 21	Saturday August 22	Sunday August 23	August 24-26
Registration	09:00	Opening Address	Parallel sessions	Keynote Lecture 6	Post-congress field trip and Excursions
	09:20	Keynote Lecture 1		Keynote Lecture 7	
	10:05	Coffee break	Coffee break	Coffee break	
	10:20	Keynote Lecture 2	Parallel sessions	Closing Address	
	11:05	Keynote Lecture 3			
	11:50	Lunch	Lunch	Lunch	
	13:30	Keynote Lecture 4	Keynote Lecture 5		
	14:15	Parallel sessions	Parallel sessions		
	15:30	Coffee break	Coffee break		
	15:45	parallel sessions	parallel sessions		
	17:00	Poster Section 1	Poster Section 1		
Pre-Congress workshops	18:30	Dinner	Congress Banquet		
	20:00	15 th ICAM Council general meeting			

PUBLICATIONS

Interested participants are encouraged to submit abstracts and papers for oral and poster presentations describing original and unpublished research work in areas of applied mineralogy within the themes of the ICAM2023. Submitted abstracts and full papers will be considered through peer reviewing process by scientific committee of 15th ICAM. All accepted abstracts and papers will be published in the conference proceedings. Selected papers from the conference will be published in a special issue of journals.

ICAM2023 KEY DATES

30 November 2022	First Circular
15 May 2023	Abstract submission deadline
30 May 2023	Notification of acceptance of abstracts and Second circular
15 June 2023	Early bird registration deadline
31 July 2023	Final circular
20-23 August 2023	15 th ICAM2023
15 December 2023	Submission deadline for full papers



ELEMENTS OF ICAM2023

All Oral and Poster Sessions for our conference,

- Keynote Speeches
- Invited Presentations
- Oral Presentations
- Poster Presentations
- Workshops

REGISTRATION

General registration fee On-Site Registration, USD450
Early-Bird Registration, USD350
(Before 15 June 2023)

Student registration fee Early Bird Registration, USD300
(Before 15 June 2023)

WORKSHOP AND FIELD-TRIPS

A series of professional workshops related to applied mineralogy will be held in Chengdu at the congress venue before the 15th ICAM.

The 2 to 3 days field-trips will be organized after the last day of conference to introduce facilities and cultural heritage related to applied mineralogy to the local and overseas participants.

CALL FOR EXHIBITION

A professional Exhibition will be held in conjunction with



this event. The Exhibition will provide an excellent opportunity for companies to display their products and services to the delegation. We welcome companies display their state-of-the-art products. We also welcome financial support to the 15th ICAM.

VISA INFORMATION

Participants from overseas may need applying visa to attend conference, according to the policies of Bureau of Exit and Entry Administration of the Ministry of Public Security of China. We can provide necessary documents and help for participants applying visa.

CONFERENCE SECRETARIAT

The conference secretary office for organizing the 15th ICAM is available to assist you within all congress processes, E-mail: 2023icam@163.com

Tel: +86-816-6089436

Postal address: School of environmental and resource, Southwest University of Science and Technology, 59 Qinglong Road, Fucheng, Mianyang, Sichuan, PR. China, 621010

TRAVEL TO CHENGDU

Chengdu has a domestic airport named Shuangliu Airport and an international airport named Tianfu Airport. You may easily take flights and high-speed train to Chengdu.



Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский), Г. Н. Каблис

Компьютерная верстка

А. Ю. Перетягина

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.03.2023. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 5,5. Тираж 140. Заказ 1200. 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