

Российская академия наук
Уральское отделение
Институт минералогии

Министерство образования и науки РФ
Южно-Уральский
государственный университет

Российское минералогическое общество

**МЕТАЛЛОГЕНИЯ ДРЕВНИХ
И СОВРЕМЕННЫХ ОКЕАНОВ–2013**

**РУДОНОСНОСТЬ ОСАДОЧНЫХ
И ВУЛКАНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ**
Материалы Девятнадцатой научной молодежной школы

**METALLOGENY OF ANCIENT
AND MODERN OCEANS–2013**

**ORE POTENTIAL OF SEDIMENTARY
AND VOLCANIC COMPLEXES**
Materials of the XIX Scientific Youth School

Миасс
2013

УДК 553, 549

Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов. Научное издание. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – 328 с.

ISBN 978-5-7691-2356-6

В сборник вошли материалы XIX научной молодежной школы «Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов» (22–26 апреля 2013 г.). Рассмотрены вопросы, касающиеся геодинамических, петрологических, минералогических и геохимических аспектов формирования месторождений в разновозрастных осадочных и вулканогенных комплексах. Отдельные разделы посвящены месторождениям черных, цветных, редких и благородных металлов в палеоокеанических структурах Европы, Урала, Сибири, Кавказа, Алтая, Дальнего Востока и Африки, а также Атлантического и Тихого океанов. В разделе актуальных геолого-минералогических исследований даны результаты изучения рудомещающих комплексов, минералов и месторождений нерудного сырья.

Проведение Школы и издание материалов осуществлено при поддержке РФФИ (проект 13-05-06807-моб_г), Президиума УрО РАН и ЮУрГУ.

Илл. 72. Табл. 36.

Ответственные редакторы:

профессор, д.г.-м.н. В. В. Зайков, к.г.-м.н. И. Ю. Мелекестева

Члены редколлегии: к.г.-м.н. Д. А. Артемьев, к.г.-м.н. Н. Р. Аюпова,
д.г.-м.н. Е. В. Белогуб, к.г.-м.н. Е.В. Зайкова, д.г.-м.н. В. В. Масленников,
к.г.-м.н. К. А. Новоселов, д.г.-м.н. В. А. Попов

UDK 553, 549

Metallogeny of ancient and modern oceans–2013. Ore potential of sedimentary and volcanic complexes. Scientific edition. – Miass: IMin UB RAS, 2013. – 328 p.

ISBN 978-5-7691-2356-6

Proceedings of the XIX Scientific Youth School “Metallogeny of ancient and modern oceans–2013. Ore potential of sedimentary and volcanic complexes” (April 22–26, 2013) include abstracts dedicated to the geodynamic, petrological, mineralogical, and geochemical aspects of mineral deposit formation. The individual chapters are devoted to the geology of ferrous, non-ferrous, rare and precious metal deposits in paleoceanic structures of the Europe, Urals, Siberia, Caucasus, Altai and Far East and modern oceanic structures (Atlantic and Pacific oceans). The chapter “Topical geological and mineralogical studies” contains information about non-metallic mineral deposits.

Holding of the School and abstract publishing is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 13-05-06807-моб_г), Presidium of RAS, and South-Urals State University.

Figures 72. Tables 36.

Editors-in-Chief:

V. V. Zaykov and I. Yu. Melekesteva

Editorial board: D. A. Artem'ev, N. R. Ayupova, E. V. Belogub, V. V. Maslennikov,
K. A. Novoselov, V. A. Popov, E. V. Zaykova

ПРЕДИСЛОВИЕ

В сборнике опубликованы материалы XIX научной молодежной школы «Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов», посвященной 25-летию Института минералогии УрО РАН. Школа проводится ежегодно с 1995 г. Институтом минералогии Уральского отделения Российской академии наук (ИМин УрО РАН) и Южно-Уральским государственным университетом (ЮУрГУ, филиал в г. Миассе).

Цель Школы – знакомство студентов и аспирантов с современными принципами металлогенического анализа разновозрастных структур океанического происхождения, достижениями морской и континентальной геологии и геологоразведочного дела. Школа предназначена для координации и повышения эффективности многоуровневой подготовки научных специалистов в области полезных ископаемых из различных вузов и научных организаций геологического профиля России и зарубежных стран. Главной социальной задачей Школы является формирование творческих связей состоявшихся и будущих молодых специалистов и привлечение в науку талантливой молодежи.

За 1995–2012 гг. в Школе участвовало более 950 студентов из многих российских государственных университетов: Адыгейского, Алтайского, Бурятского, Воронежского, Иркутского, Московского, Московского геологоразведочного, Новосибирского, Оренбургского, Пермского, Петрозаводского, Российского Дружбы Народов, Сибирского, Санкт-Петербургского, Санкт-Петербургского горного, Саратовского, Сыктывкарского, Томского, Томского технического, Тувинского, Тюменского технического, Уральского горного, Южного, Южно-Российского технического, Южно-Уральского, Челябинского. На Школе присутствовали также студенты из национальных университетов Украины (Донецкого, Киевского, Криворожского, Львовского, Харьковского), Белоруссии (Белорусского), Казахстана (Рудненского индустриального).

В разные годы в Школе участвовали выдающиеся специалисты в области геологии, металлогении и минералогии: академики РАН А. П. Лисицын и В. А. Коротев, член-корреспонденты РАН В. Н. Анфилов, В. Н. Пучков, Е. В. Скляров, академики РАЕН Е. К. Мархинин и Ю. А. Богданов. Из иностранных ученых в работе Школы принимали участие профессора С. Скотт (Канада, Университет Торонто), А. Малахов (США, Университет Гонолулу), Р. Китагава (Япония, Университет Хиросимы), Ф. Баррига (Португалия, Лиссабонский университет), П. Герциг (Германия, Фрайбергская горная академия), П. Нимис (Университет г. Падуа, Италия), Ж.-Ж. Оржеваль (Бюро геологических исследований, Орлеан, Франция).

Труды Школы издаются ежегодно под общим названием «Металлогения древних и современных океанов» (продолжающееся рецензируемое издание). Данный выпуск содержит статьи профессоров, студентов и аспирантов по гидротермальным полям и рудам современных и древних океанов, месторождениям Палеоуральского и Палеоазиатского океанов. Тематика работ разнообразна – от глобальных проблем

тектоники, магма- и рудообразования до тонких минералогических исследований с использованием современных методик и аппаратуры. В разделе «Краткие сообщения» опубликованы реферативные сообщения по различным тематикам, в том числе подготовленные юными геологами. Особенностью Школы с 2004 г. является прямая трансляция заседаний в сети Интернет, что позволяет заочным участникам выступать в режиме *on-line*, получать ответы на вопросы и участвовать в дискуссиях.

В программу Школы входит полевая экскурсия на золоторудное месторождение Золотая Гора в зоне Главного Уральского разлома. Неизменным объектом экскурсии является Естественно-научный музей Ильменского заповедника, в котором представлена обширная коллекция минералов из рудных месторождений мира.

Финансовая поддержка Школе в 2013 г. оказана Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 12-05-06801-моб_г), Президиумом УрО РАН и Южно-Уральским государственным университетом.

Оргкомитет XIX научной молодежной школы «Металлогения древних и современных океанов–2013»

Зайков В. В., д.г.-м.н., профессор, ИМин УрО РАН, ЮУрГУ, г. Миасс – *председатель*

Мелекесцева И. Ю., к.г.-м.н., ИМин УрО РАН, г. Миасс – *зам. председателя*

Зайкова Е. В., к.г.-м.н., ИМин УрО РАН, г. Миасс – *ученый секретарь*

Анфилогов В. Н., член-корреспондент РАН, ИМин УрО РАН, ЮУрГУ, г. Миасс

Аюпова Н. Р., к.г.-м.н., ИМин УрО РАН, ЮУрГУ, г. Миасс

Баррига Ф., профессор, Лиссабонский университет, Португалия

Белогуб Е. В., д.г.-м.н., ИМин УрО РАН, ЮУрГУ, г. Миасс

Бортников Н. С., академик РАН, ИГЕМ РАН, г. Москва

Брусницын А. И., д.г.-м.н., СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Жуков И. Г., к.г.-м.н., ИМин УрО РАН, ЮУрГУ, г. Миасс

Коротеев В. А., академик РАН, ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург

Лисицын А. П., академик, ИО РАН, г. Москва

Масленников В. В., д.г.-м.н., профессор, ИМин УрО РАН, ЮУрГУ, г. Миасс

Новоселов К. А., к.г.-м.н., ИМин УрО РАН, г. Миасс

Пучков В. Н., член-корреспондент РАН, ИГ УНЦ РАН, г. Уфа

Симонов В. А., д.г.-м.н., ИГМ СО РАН, г. Новосибирск

Синяковская И. В., к.г.-м.н., ЮУрГУ, ИМин УрО РАН, г. Миасс

Скотт С., профессор, Университет Торонто, Канада

Теленков О. С., к.г.-м.н., ИМин УрО РАН, г. Миасс

Чадченко А. В., к.г.-м.н., Учалинский филиал ОАО «Башкиргеология», г. Учалы

Юминов А. М., к.г.-м.н., ЮУрГУ, ИМин УрО РАН, г. Миасс

Часть 1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И МЕТАЛЛОГЕНИИ

В. Н. Анфилогов

*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
anfilogov@mineralogy.ru*

Институту минералогии УрО РАН – 25 лет

В 2013 г. Институту минералогии УрО РАН исполняется 25 лет. Институт был организован постановлением Президиума Уральского отделения АН СССР № 2–10 от 1 февраля 1988 г. на базе научных подразделений Ильменского государственного заповедника им. В. И. Ленина с целью проведения комплексных фундаментальных исследований в области минералогии. В институте получили успешное развитие пять лабораторий: экспериментальной минералогии и физики минералов; региональной минералогии; минералогии рудогенеза; минералогии техногенеза и геоэкологии; физических методов исследования минерального сырья и отдел геоинформационных технологий.

Лаборатория экспериментальной минералогии и физики минералов оснащена современным оборудованием для изучения фазовых равновесий и физико-химических свойств магматических и оксидных расплавов и стекол. Создана уникальная экспериментальная установка для изучения строения оксидных расплавов непосредственно при высоких температурах (вплоть до 1300 °С) методом спектроскопии комбинационного рассеяния света. Впервые получены высокотемпературные спектры КР ряда оксидных стеклообразующих расплавов – силикатных, боратных, германатных, фосфатных и т.д. На основе интерпретации полученных спектров рассмотрены механизмы изменения структуры расплавов в процессе их охлаждения и стеклования. Разработаны теория анионных равновесий в силикатных расплавах и методы расчета физико-химических свойств оксидных стеклообразующих систем. Подготовлена структурная модель расслаивания силикатных расплавов. Выполнены работы по изучению взаимодействия алюмосиликатных и боросиликатных стекол и расплавов с водой, по результатам которых предложены различные механизмы растворения воды в оксидных системах. Основные результаты представлены в нескольких монографиях, в том числе «Спектроскопия и структура силикатных расплавов и стекол» [Быков и др., 2001], «Силикатные расплавы» [Анфилогов и др., 2005], «Спектроскопия и структура щелочно-боратных стекол и расплавов» [Осипов и др., 2009].

В последние годы создана экспериментально-методическая база для изучения технологических свойств природного кварца, решения задачи оптимизации технологических процессов получения кварцевых концентратов, совершенствования методик наплава кварцевого стекла и аттестации оптических свойств синтезированных стекол. В 2011 г. получен патент РФ № 2431601 «Способ получения высокочистого концентрата из природного кварца». На основе лаборатории создана научная школа «Строение и свойства магматических расплавов» (основатель – чл.-корр. В. Н. Анфилогов).

Лаборатория региональной минералогии проводит изучение минерального состава крупных тектоно-магматических систем Урала, а также месторождений За-

байкаля, Дальнего Востока и Камчатки. В уникальном по размерам Ильменогорском миаскитовом массиве пробурена структурная скважина глубиной 2000 м. Установлено сложное полифациальное строение глубинных частей массива с широким проявлением пегматитообразования и метасоматоза, выделены фациальные разновидности миаскитовых пород и серия лампрофиридных пород. На основе геологических наблюдений, петрофизических измерений керна, геофизического каротажа и расчетов геофизических полей впервые была построена объемная модель миаскитового массива и вмещающих метаморфических толщ южного окончания Ильмено-Вишневогорского комплекса. Построена генетическая модель развития щелочной магматической системы на фоне переходов вмещающей среды от хрупкого состояния к пластическому. Установлена стадийность образования массива от сухих агпаитовых парагенезисов к водосодержащим миаскитовым и, позднее, образование дифференцированных парагенезисов шпатового, карбонатитового, лампрофиридного составов. Результаты представлены в монографии «Глубинное строение Ильменогорского миаскитового массива» [Макагонов и др., 2003].

Работы лаборатории сопровождались открытиями новых и редких минералов и их ассоциаций. В ряде работ обосновано выделение нового структурного класса минералов – трифосфатов цепочечной структуры. В процессе минералогических исследований открыто 9 новых минералов: канонеровит, поляковит (В. А. Попов, В. И. Попова и др.), макарочкинит (Е. П. Щербакова), фторомагнезиоарфведсонит, фторорихтерит, калийферрисаданагаит, ферривинчит (А. Г. Баженов и др.), калиймагнезиогастингсит (В. Г. Кориневский, Е. В. Кориневский), флоренсит-(Sm) (С. А. Репина и др.). Установлено более 30 новых минералов для России. Составлены фундаментальные обобщения по минералогии пегматитовых полей Мурзинки [Попова и др., 2002], Ильменских гор [Попов, Попова, 2006], Кочкарского и Уфалейского блоков [Белковский, 2006]. Существенно дополнены кадастры минералов более 20 месторождений. Открыто несколько новых разновидностей горных пород. Значительное место в исследованиях ЛРМ занимает анализ конституции и генезиса минералов. Разработаны теории симметрии сростков кристаллов, аффинной гомологии кристаллов, учение о парагенезисе форм кристаллов. Сделан вклад в теорию роста кристаллов (сокристаллизация полиморфов, синтаксия, элементная и изотопная секториальность кристаллов). Работы отмечены медалями РМО и «Почетными отзывами РМО» за лучшие работы в области минералогии (Е. П. Макагонов, В. А. Попов, В. И. Попова).

Деятельность **лаборатории минералогии рудогенеза** направлена на сравнительный анализ минералогии, геохимии, палеовулканических и физико-химических условий формирования рудообразующих систем в древних и современных океанах. Работами лаборатории охвачены крупнейшие колчеданосные регионы мира, включая Урал, Рудный Алтай, Понтиды, Аппалачи, Иберийский и Западно-Тасманийский пояса, а также сульфидоносные гидротермальные проявления Атлантического и Тихого океанов. Лаборатория занимает лидирующие позиции в развитии минералого-геохимических теорий донного рудообразования в древних океанах. Получены достижения в минералогии колчеданных, золоторудных, марганцеворудных, железорудных, пиррофиллитовых и нефритовых месторождений. Выявлены закономерности в развитии вулканизма и рудообразования в бассейнах континентальных окраин [Зайков, 2006].

В лаборатории разработан метод рудно-фациального анализа, на основе которого проведена морфогенетическая реконструкция древнейших придонных сульфидных холмов, показана связь формы рудных тел, соотношений рудных фаций и их минерального состава с региональными режимами вулканизма и седиментации [Масленников, Зайков, 2006]. При исследовании кобальт-медноколчеданных залежей в офиолитовых зонах Урала выявлены признаки их формирования на морском дне [Мелекесцева, 2007].

В рудах фанерозойских колчеданных месторождений Урала, Рудного Алтая, Понтида и Хокуроко определены палеогидротермальные трубы – аналоги «черных, серых и белых курильщиков» [Масленникова, Масленников, 2007]. Установлена зависимость минерального состава «курильщиков» от геодинамических обстановок формирования и состава рудовмещающих формаций, обнаружено явление гидротермально-осадочной дифференциации элементов-примесей в халькогенидах сульфидных труб. Среди разнообразных редких минералов обнаружены промежуточные твердые растворы, входящие в новые изоморфные серии Ag–Pb–Bi–Sb–Te и Ag–Cu–Te–S. При проведении биофациального анализа сульфидных холмов Урала и Понтида распознаны древние оруденелые устьевые биоты – аналоги современных гидротермальных оазисов, открыты новые виды оруденелой пригидротермальной фауны, а также разработаны критерии глобального прогнозирования палеогидротермальных сульфидных тафоценозов [Масленников, 2006].

В лаборатории активно ведутся работы по изучению минералогии субмаринного [Аюпова, Масленников, 2005] и субазального [Белогуб и др., 2006] гипергенеза колчеданных месторождений Урала, в результате которых обнаружены редкие минеральные ассоциации, выявлена зональность преобразований руд, диагенетическая и гипергенная химическая и изотопно-геохимическая дифференциация в халькогенидах в зависимости от условий их формирования. Впервые для Южного Урала систематически изучены геологическое строение и вещественный состав зон окисления развитых над сульфидными месторождениями различных формационных типов, установлено закономерное положение класса селенидов в гипергенном профиле колчеданных месторождений [Белогуб и др., 2006].

В лаборатории создана теория литогенеза сульфидных, оксидно-железистых и оксидно-марганцевых металлоносных отложений, включающая модели гальмиролиза для объяснения литолого-минералогического разнообразия колчеданоносных палеогидротермальных полей [Масленников, 1999]. Фундаментальные труды лаборатории посвящены характеристике малоизученных генетических типов металлоносных отложений, сульфидных турбидитов и их диагенитов, госсанитов, джасперитов, умбринов и пиритовых кварцитов, и на этой основе разработаны новые литолого-минералогические и геохимические критерии прогнозирования колчеданных месторождений.

За работу «Создание научных основ развития рудной минерально-сырьевой базы Урала» одному из авторов (В. В. Масленников) присуждена Премия Правительства РФ в области науки и техники (2004 г.). За развитие многостадийной минералогическо-геохимической модели накопления золота в углеродистых металлоносных отложениях и выявление источника золота для золоторудных месторождений-гигантов Обществом Экономической Геологии (SEG) В. В. Масленникову присуждена международная награда им. Б. Скиннера (2012 г.). На основе лаборатории создана ведущая научная школа «Металлогения древних океанов» (основатели – проф. В. В. Зайков и проф. В. В. Масленников).

В последние годы в лаборатории успешно развивается новое для минералогии георухеологическое направление. Интересными являются работы по изучению минеральных включений в шлаках и золотых изделиях. В последних выявлены микровключения осмия – индикатора россыпного источника благородных металлов [Основы..., 2011].

Значительные успехи достигнуты в изучении минералогии новых и нетрадиционных видов минерального сырья, связанных с рудообразующими вулканогенными формациями. Сотрудниками лаборатории открыт ряд месторождений нового для России кварц-пиррофиллитового сырья, впервые дана генетическая типизация пиррофиллитовых месторождений [Зайков и др., 1989; Синяковская, Зайков, 2010]. Совместно с сотрудниками лабораторий региональной минералогии и экспериментальной минералогии и физики минералов открыты многочисленные проявления нефрита в ультрамафитовых комплексах Учалино-Миасской зоны с выделением крупнейшей в мире нефритоносной провинции и завершением поисково-оценочной стадии изучения крупного Академического проявления нефритов.

В лаборатории минералогии техногенеза и геозкологии создано и методически обосновано новое научное направление в области наук о Земле – «Минералогия техногенеза». На модельном полигоне (горелые отвалы Челябинского угольного бассейна) изучены процессы минералообразования в широких диапазонах температур и газовой фазы [Чесноков и др., 2008]. Разработана теория формирования минерализации в аноксических условиях техногенных объектов при пирометаморфизме. Установлен и детально изучен 51 новый минеральный вид, 8 из которых утверждены Комиссией по новым минералам Международной минералогической ассоциации. Выделены новые классы минералов: силикооксиды, силикохлориды и силикофториды. Совокупность знаний, полученных в процессе изучения высокотемпературных минеральных ассоциаций, позволяет прогнозировать процессы минералообразования в бескислородной атмосфере планет Солнечной системы.

В лаборатории успешно развивается современное научное направление, связанное с изучением геохимии техногенеза. Определены масштабы атмосферной миграции микроэлементов и их роль в трансграничных и региональных уровнях переноса вещества на Южном Урале. Для транспортных и депонирующих сред определены статистические параметры миграции и накопления 48 микроэлементов. Впервые для поверхностных вод природных и горнопромышленных ландшафтов с использованием каскадной ультрафильтрации установлены преимущественные формы миграции халькофильных элементов и определен баланс их поступления в промежуточные и конечные бассейны седиментации. На основе этой же лаборатории совместно с лабораторией физических методов изучения минерального сырья создана экспериментально-аналитическая база для изучения элементного состава вещества – «Южно-Уральский центр коллективного пользования по исследованию минерального сырья», имеющий аттестат аккредитации в течение двух пятилетних сроков.

Для выполнения аналитических задач большое значение имеет лаборатория **физических методов исследования минерального сырья**, оснащенная сканирующими электронными микроскопами РЭММА-202М с энергодисперсионной приставкой Link Oxford и VEGA3 TESCAN, трансмиссионным электронным микроскопом TESLA, рентгеноспектральным микроанализатором JEOL-733 JXA, компьютеризированным дериватографом Q-1500, дифрактометрами Shimadzu XRD-6000 с узкофо-

кальной трубкой и ДРОН-2.0, программным пакетом для количественного анализа методом Ритвельда SIROQUANT, рентгенофлюоресцентным анализатором INNOV-x-á и электронографом ЭММА-100.

В 1996 г. в Институте был создан **отдел геоинформационных технологий**. Основным направлением работ отдела является создание и развитие научной и научно-образовательной телекоммуникационной инфраструктуры в Челябинском научном центре и горнозаводской зоне Челябинской области. Отдел обеспечивает информационную поддержку проведения фундаментальных исследований в Институте минералогии и реализует ряд проектов информатизации на региональном уровне. В отделе разрабатываются корпоративные и прикладные информационные системы на базе порталных решений в сети интернет и интранет.

Результаты исследований сотрудников Института минералогии УрО РАН представлены в более чем 1000 научных публикациях, из них в 40 фундаментальных монографиях, а также в крупных статьях в международных высоко-рейтинговых журналах (Nature, Geology, Geochimica et Cosmochimica Acta, Mineralogy and Petrology, Mineralogical Magazine, Economic Geology, Ore Geology Reviews, Recourse Geology, Economic Geology Monographs). Исследования сотрудников института поддерживаются российскими и международными грантами, среди которых следует упомянуть гранты РФФИ, Президиума РАН, УрО–СО–ДВО РАН, ФЦП «Интеграция» Минобрнауки, Президента РФ, а также гранты МНФ, TACIS, GEODE, INTAS, DAAD, CODES, ЮНЕСКО–IGCP, 5^{ой} и 7^{ой} рамочных программ Евросоюза. Сотрудники Института минералогии УрО РАН участвуют в международных конференциях геологической и минералогической направленности, среди которых важнейшими являются регулярно проводимые: Международный Геологический Конгресс (IGC), конгресс Международной ассоциации геологии рудных месторождений (IAGOD), Международный конгресс по прикладной геологии (SGA), Съезд международной минералогической ассоциации (IMMA), Международный конгресс по прикладной минералогии (ICAM), а также в рабочих совещаниях в рамках программ IGCP (486, 502), CERCAMS-6,9.

Сотрудники Института минералогии УрО РАН активно сотрудничают с коллегами российских академических институтов, университетов и производственных организаций. В их числе ИГГ УрО РАН и УГГУ (Екатеринбург), ИГ УНЦ РАН (Уфа), ИГЕМ РАН, ИО РАН, ЦНИГРИ, ИМГРЭ, МГУ (Москва), СПбГУ, ВСЕГЕИ, ВНИИОкеангеология, ПМГРЭ (Санкт-Петербург), ИГМ СО РАН, НГУ (Новосибирск) и др. Среди зарубежных партнеров – Музей Естественной Истории (Лондон), Фрайбергская Горная Академия (Фрайберг), Университет Тасмании (Хобарт), Геологическая служба Франции (Орлеан) и др.

Научные контакты с исследователями современных гидротермальных систем дали возможность сотрудникам Института минералогии УрО РАН принять участие в рейсах научно-исследовательских судов для изучения продуктов современной гидротермальной подводной деятельности. В. В. Масленников на НИС «Академик Келдыш» с учеными Института Океанологии РАН и И. Ю. Мелекесцева на НИС «Профессор Логачев» в сотрудничестве со специалистами ФГУНП ПМГРЭ работали на гидротермальных полях Атлантики.

Институт минералогии – учредитель геологического факультета ЮУрГУ. С момента основания геологического факультета Миасского филиала Южно-Ураль-

ского государственного университета (1998 г.) 22 сотрудника института принимают активное участие в учебном процессе в качестве лекторов и руководителей дипломных работ. Преподаватели факультета опубликовали ряд методических пособий, среди которых выделяются работы [Масленников, Зайков, 2006; Попов, 2011; Кабанова, 2008]. С 1995 г. в институте проходит международная молодежная научная школа «Металлогения древних и современных океанов».

В настоящее время один из новых объектов минералогических исследований – Челябинский метеорит. Сотрудники Института уверенно смотрят в будущее и нацелены на решение актуальных научных задач, стоящих перед учеными России.

Литература

- Анфилогов В. Н., Быков В. Н., Осипов А. А.* Силикатные расплавы. М.: Наука, 2005. 357 с.
- Аюпова Н. Р., Масленников В. В.* Гальмиролититы Узельгинского колчеданоносного поля (Южный Урал). Миасс: УрО РАН, 2005. 199 с.
- Белковский А. И., Белковская Я. А.* Биотиты и вермикулиты Уфалейского метаморфического блока (Средний Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 202 с.
- Белогуб Е. В., Новоселов К. А., Яковлева В. А.* Зона окисления Западно-Озерного цинково-медноколчеданного месторождения (Южный Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 182 с.
- Быков В. Н., Анфилогов В. Н., Осипов А. А.* Спектроскопия и структура силикатных расплавов и стекол. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. 180 с.
- Зайков В. В.* Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири. М.: Наука, 2006. 429 с.
- Зайков В. В., Кораблев Г. Г., Удачин В. Н.* Пиррофиллитовое сырье палеовулканических областей. М.: Наука, 1989. 129 с.
- Кабанова Л. Я.* Петрография магматических горных пород. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 152 с.
- Макагонов Е. П., Баженов А. Г., Вализер Н. И. и др.* Глубинное строение Ильменогорского миасситового массива. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. 180 с.
- Масленников В. В.* Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В.* Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей (на примере Южного Урала). Миасс: Геотур, 1999. 348 с.
- Масленников В. В., Зайков В. В.* Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 224 с.
- Масленникова С. П., Масленников В. В.* Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков». Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2007. 312 с.
- Осипов А. А., Осипова Л. М., Быков В. Н.* Спектроскопия и структура щелочноборатных стекол и расплавов. Екатеринбург–Миасс: УрО РАН, 2009. 174 с.
- Основы георхеологии: учебное пособие / В. В. Зайков, А. М. Юминов, Е. В. Зайкова, А. Д. Таиров.* Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011. 263 с.
- Попов В. А.* Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.
- Попов В. А., Попова В. И.* Минералогия Ильменских гор // Минералогический альманах. М.: Ассоциация Экост, 2006. Т. 9. 152 с.
- Попова В. И., Попов В. А., Канонеров А. А.* Мурзинка: Алабашское пегматитовое поле // Минералогический альманах: М.: Ассоциация Экост, 2002. Т. 5. 128 с.
- Синяковская И. В., Зайков В. В.* Пиррофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Гау (Башкортостан). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 154 с.
- Чесноков Б. В., Щербакоев Е. П., Нишанбаев Т. П.* Минералы горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Миасс УрО РАН, 2008. 139 с.

В. Н. Анфилов¹, Ю. В. Хачай²

¹ – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
anfilov@mineralogy.ru*

² – *Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург*

Происхождение Луны

Вопрос о происхождении Луны имеет первостепенное значение для объяснения механизма образования Земли, спутником которой она является. До появления гипотезы мегаимпакта в литературе обсуждались три основных механизма образования Луны: 1) гипотеза отделения Луны от Земли; 2) гипотеза захвата и 3) гипотеза совместного образования или коаккреции Земли и Луны. Недостатки этих гипотез рассмотрены в работе [Левин, Маева, 1975]. Идея отделения вещества Луны от Земли была высказана Дж. Дарвиным еще в 1880 г. Ее несоответствие законам небесной механики также обсуждаются в работе [Левин, Маева, 1975]. Как отмечают авторы этой работы, в случае возникновения ротационной неустойчивости, которая является причиной отделения части вещества от вращающегося тела, невозможно плавное отделение спутника от основного тела. Выброшенное в результате ротационной неустойчивости вещество либо улетает прочь, либо возвращается обратно.

Гипотеза совместного образования Земли и Луны рассматривается в работах [Шмидт, 1950; Рускол, 1975]. О. Ю. Шмидт предполагал, что Луна аккумулировалась в окрестностях растущей Земли из околосемного роя тел, непрерывно пополнявшегося из протопланетного облака. Как отмечают Б. Ю. Левин и С. В. Маева [1975], «гипотеза О. Ю. Шмидта опирается на процессы, которые неизбежно должны протекать в ходе аккумуляции Земли и, с механической точки зрения, она представляется наиболее перспективной». Однако в рамках этой гипотезы следует ожидать, что Луна и Земля имеют одинаковый состав и попытка доказать, что этот процесс может привести к различному составу этих тел, по мнению авторов, является сомнительной.

Существенный прогресс в изучении Луны был достигнут при изучении материалов, доставленных на Землю беспилотными станциями Луна-16, Луна-20 и экспедициями Аполлон. Детальный анализ этих результатов и проблем, которые появились в связи с получением новых данных, сделан в работах [Левин, Маева, 1975; Каула, 1975; Warren, 1989]. Отметим наиболее важные из них. Установлено, что Луна претерпела магматическую дифференциацию, которая происходила одновременно с ее ростом, и что в настоящее время ее недра находятся в частично расплавленном состоянии. Следствием этого открытия является необходимость высокой начальной температуры Луны. Пока никто не смог предложить источник энергии, необходимой для реализации этого состояния. У. М. Каула [1975] считает, что астеносфера Луны радиусом 700 км свидетельствует о том, что эта область была слишком холодна, чтобы принять участие в ранней дифференциации. Попытки объяснить высокую температуру в недрах Луны повышенным содержанием радиоактивных элементов выглядят не совсем убедительными и создают новую проблему источника повышенных содержаний этих элементов. Установлен резкий дефицит железа по сравнению с Землей. Третьей особенностью Луны является ее обогащение минералами с высоким содержанием Са и Al [Левин, Маева, 1975]. Наличие на Луне мощной анортозитовой коры и частично расплавленной центральной части заставляют предполагать, что весь ее объем прошел через расплавленное состояние, и что на завершающей стадии

формирования у ее поверхности существовал слой расплава мощностью не менее 400 км [Рускол, 1975].

Неадекватность трех основных гипотез образования Луны и перечисленные выше проблемы, главная из которых разогрев вещества Луны до температуры плавления, привели к появлению гипотезы мегаимпакта [Cameron, 1976; Taylor, 1987]. Гипотеза мегаимпакта предполагает, что материал, из которого была сформирована Луна, был выбит из мантии Земли при ударе о Землю космического тела размером с Марс или более. Таким образом, по мнению авторов, решаются две проблемы: дефицит железа в Луне и разогрев выброшенного материала выше температуры плавления. Гипотеза мегаимпакта не решает проблему, а заменяет ее решение умозрительной схемой. Произвольно варьируя составом и размером импактора, эта гипотеза позволяет объяснить любые установленные различия в составе Земли и Луны, но какие либо алгоритмы ее проверки отсутствуют.

Прежде чем объяснять природу различия химического состава Земли и Луны и механизм разогрева вещества Луны на начальном этапе ее формирования, мы должны выбрать определенную модель образования Луны. Наиболее корректной является модель, предложенная О. Ю. Шмидтом [1950], которая в дальнейшем была развита в работах Е. Л. Рускол [1975]. Е. Л. Рускол и У. М. Каула считают, что динамически вероятным является способ, в котором Луна является побочным (сопутствующим) продуктом образования Земли. Однако этот тезис может иметь двоякое толкование. В варианте, принятом Е. Л. Рускол и У. М. Каулой, Луна формируется из спутникового роя, частицы которого, до того как стать спутниками растущей Земли, обращались по гелиоцентрическим орбитам. В этом варианте предполагается, что Земля и Луна формировались из одного и того же вещества. Это создает непреодолимые трудности при объяснении различия химического состава Земли и Луны.

Принимая за основу гипотезу О. Ю. Шмидта, мы считаем, что на начальном этапе Луна формировалась из фрагментов, которые образовались при разрушении первичных зародышей Земли. Этот вариант логически вытекает из предложенной нами модели гетерогенной аккумуляции Земли, в основе которой лежит двухстадийный механизм формирования зародышей планеты [Cameron, 1976; Stolper, 1982]. Согласно нашей модели, на первой стадии образуются первичные зародыши, центральная часть которых сложена наиболее высокотемпературными конденсатами, близкими по составу к САI – обогащенными Са и АI включениям, которые присутствуют в метеорите Алленде. Средняя оболочка этих зародышей сложена железоникелевым материалом, который конденсируется из газовой фазы вслед за высокоглиноземистыми конденсатами. В процессе роста первичных зародышей происходил их разогрев, в результате распада коротко живущих радиоактивных изотопов, главным из которых является ^{26}Al с периодом полураспада $\tau = 7.38 \cdot 10^5$ лет. Отношение $^{26}\text{Al}/^{27}\text{Al}$ в протопланетном веществе оценивается в $5 \cdot 10^{-5}$ [Cameron, 1976]. При таком содержании ^{26}Al по мере роста массы зародышей температура их центральных областей увеличивается и в центре зародыша радиусом более 200 км может достигать 2200 К [Cameron, 1976; Анфилогов, Хачай, 2005]. Этого вполне достаточно для плавления Са–АI материала в центральной части зародыша, температура плавления которого равна 1830 К [Stolper, 1982], и железо-никелевой смеси в его средней оболочке. Внешняя оболочка зародыша, отдающая тепло в пространство, останется твердой.

Дальнейшее развитие процесса формирования планет идет по следующей схеме. В соответствие с моделью аккумуляции В. Сафронова, число зародышей образованных на начальном этапе процесса агломерации продуктов конденсации велико, и

они будут часто сталкиваться друг с другом. Столкновение двух зародышей, имеющих близкие размеры, расплавленное алюмосиликатное ядро, среднюю железную и твердую силикатную внешнюю оболочки, приведет к их разрушению. Средние, расплавленные оболочки при столкновении сольются, образуя новый зародыш, ядро которого состоит из железо-никелевого сплава. Вещество алюмосиликатных ядер первичных зародышей будет выдавлено из их центров и выброшено за пределы нового зародыша, образованного в результате столкновения. Частично вместе с ним будет выброшен расплавленный железо-никелевый материал. Внешние твердые оболочки, нижняя часть которых могла состоять из вещества близкого к составу палласитов или обыкновенных хондритов, будут разрушены и часть обломков также будет выброшена за пределы области питания растущей планеты. Таким способом формируется металлическое ядро Земли и происходит разделение химических резервуаров ядра и силикатной мантии.

Рассмотренный выше двухстадийный механизм формирования Земли позволяет предложить согласованный с ним вариант образования Луны, объясняющий существующий дефицит железа в составе Луны и высокую первичную температуру в ее недрах. Как мы отметили выше, принципиальное отличие нашей модели от модели Шмидта–Рускол заключается в том, что материал, из которого на начальном этапе формируется Луна, представлен не частицами, находящимися на гелиоцентрических орбитах, а, главным образом, фрагментами первичных зародышей Земли, выброшенных при их разрушении на спутниковые орбиты. Это вещество состоит из расплавленного материала, близкого по составу к CAI и частично из расплавленного железа и обломков внешних твердых оболочек.

Неравномерное распределение железа между Землей и Луной возникает на начальном этапе формирования Луны. При формировании вторичных зародышей Земли основная масса железа переходит в их центральные части, из которых затем формируется ядро Земли. На Луну попадают только фрагменты первичных зародышей, в которых значительная часть представлена материалом CAI. После завершения формирования основной части ядра Земли на его поверхности и на поверхности растущей Луны отлагается силикатный хондритовый материал с относительно невысоким содержанием железа.

Второй проблемой, которую должна решить адекватная модель формирования Луны, является дефицит Na, K, Rb, Cs и Mn и практически полное отсутствие в составе лунных пород воды и углекислоты. Согласно предложенной модели гетерогенной аккумуляции Земли [Анфилов, Хачай, 2012], в последнюю очередь на ее поверхности должно отлагаться вещество близкое по составу к углистым хондритам CI, которое содержит наиболее низкотемпературные, обогащенные летучими компонентами, продукты конденсации протопланетного вещества. Могут быть две причины, по которым следы этого материала отсутствуют на Луне. По мере роста гравитационного радиуса Земли, поток осколков, выходящих из зоны питания Земли, будет уменьшаться. Поэтому поздние, низкотемпературные конденсаты могли не выходить за пределы области притяжения Земли, и Луна оказалась обедненной этими компонентами. Более вероятным представляется другой вариант, который предполагает, что вещество углистых хондритов выпадало не только на Землю, но и на поверхность Луны, и его доля, выпавшая на Луну, была пропорциональна отношению масс Луны и Земли, равному 0.012. В период магматической активности Луны и бомбардировки ее поверхности метеоритами, этот материал мог быть полностью переработан, и входящие в его состав летучие компоненты диссипировали в пространство. Возмож-

ность реализации второго варианта подтверждается наличием на Луне пород щелочной серии, в том числе гранитов, которые могли образоваться только в присутствии воды в первичном веществе.

Литература

- Анфилогов В. Н., Хачай Ю. В.* Возможный вариант дифференциации вещества на начальном этапе формирования Земли // ДАН. 2005. Т. 403. № 6. С. 803–806.
- Анфилогов В. Н., Хачай Ю. В.* Дифференциация вещества мантии в процессе аккумуляции Земли и формирование первичной земной коры // Литосфера. 2012. № 6. С. 3–13.
- Левин Б. Ю., Маева С. В.* Загадки происхождения и термической истории Луны // Космохимия Луны и планет. М.: Наука, 1975. С. 283–298.
- Каула У. М.* Механические процессы, влияющие на дифференциацию протолунного вещества // Космохимия Луны и планет. М.: Наука, 1975. С. 630–637.
- Рускол Е. Л.* Происхождение Луны // Космохимия Луны и планет. М.: Наука, 1975. С. 638–644.
- Шмидт О. Ю.* Возникновение планет и их спутников // Изв. АН СССР. Серия физ. 1950. Т. 14. № 1. С. 29–45.
- Cameron A. G. V., Ward W.* The origin of the Moon // Sci. Proc. Lunar. Conf. 7th. Houston, 1976. P. 120–122.
- Stolper E.* Crystallization sequences of Ca-Al-rich inclusions from Allende meteorite: an experimental study // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1982. Vol. 46. № 11. P. 2159–2180.
- Taylor S.* The unique lunar composition and its bearing on the origin of the Moon // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987. Vol. 51. № 5. P. 1297–1310.
- Warren P. H.* Growth of the continental crust: a planetary-mantle perspective // Tectonophysics, 1989. Vol. 161. P. 165–199.

Ю. И. Бакулин

*Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск
gpr@mail.kht.ru*

Минеральное сырье – основа экономики России

Минерально-сырьевая база (МСБ) является общенациональным достоянием и материальной базой экономики. Такой высокий статус требует к ней особого отношения, направленного, прежде всего, на защиту МСБ от комплексного использования недропользователями и на восполнение добытого минерального сырья вновь разведанным за счет государственного финансирования работ. Эти проблемы существовали всегда, но есть механизмы их разрешения. В новых экономических условиях, называемых «рыночной экономикой», трудно представить такие производственные обстоятельства, которые влияли бы на цену ежедневно и даже чаще, как это происходит на бирже. Охарактеризовав основные особенности МСБ, сконцентрируем внимание на необходимых действиях по защите ее от истощения.

Стоимость разведанных и предварительно оцененных запасов России составляет около 29 трлн. долл. Основную ценность составляет углеводородное сырье (газ, нефть, конденсат, угли), составляющие вместе более 70 %, далее следуют черные

металлы (~7%), цветные и редкие металлы (~7%), благородные металлы и алмазы (~1%), на другие виды важных рудных и нерудных полезных ископаемых приходится ~15%. В годовом валовом продукте минеральное сырье составляет ~38% стоимости и ~80% экспортной выручки. Цифры внушительные, но они занижены. Имеются разные подходы к оценке реального удельного веса горнодобывающей деятельности. Автору в большей мере импонируют подходы, учитывающие образование производственных комплексов как обеспечивающих деятельность горнодобывающих предприятий, так и использующих их продукцию. По финансовым отчетам можно оценить интегральное влияние минерально-сырьевого комплекса на валовый продукт в объеме 70–80%.

Минеральные ресурсы обладают целым рядом уникальных свойств. Сравнительно простая процедура превращения их в товарный продукт (т.е., извлечение из недр) формирует значительную часть бюджета России. Но очень важное, правда, несколько отдаленное негативное последствие имеют такие свойства, которые относят его к исчерпаемым, невозобновляемым и в значительной мере незаменимым ресурсам. Известно, что минеральное сырье закончится. Оценки возможного истощения ресурсов известны по каждому виду минерального сырья по России и в целом по миру. Обеспеченностью разведанными запасами заинтересовалась Счетная палата [Заключение..., 2009]: по данным Счетной палаты на 2012 г. из 150 учитываемых видов твердых полезных ископаемых лишь по 60 видам с 2008 г. обеспеченность увеличилась или осталась неизменной, но добыча компенсировалась приростом только по 19 видам, а по 44 видам наблюдается снижение добычи. Обеспеченность разведанными запасами нефти в России – 23 года при мировой обеспеченности 45 лет (в основном, за счет стран ОПЕК, которые обеспечены запасами на 85 лет). Мировая проблема для нефтедобычи – это коэффициент извлечения нефти (КИН), не превышающий 30–35% (~70% нефти рассеивается в недрах в процессе нефтедобычи).

Еще одна особенность минерального сырья заключается в том, что чем выше его цена, тем большее его количество можно выделить в недрах при заданном качестве, а при уменьшении цены количество уменьшается. Осознание этого обстоятельства побуждает собственника недр, т.е. государство, стимулировать полноту извлечения, чтобы полезного ископаемого хватило на возможно больший срок.

Другая проблема заключается в различии принципов формирования цены на минеральное сырье, которая устанавливается на бирже, и стоимости товаров, работ и услуг, которыми пользуются горнодобывающие предприятия при производстве товарного продукта. Стоимость определяется произвольно по примеру естественных монополий (точнее, вслед за энергетиками и транспортниками). В этом случае в недрах остаются «нерентабельные» запасы из-за более высоких темпов роста стоимости работ и услуг по сравнению с ценой металлов. Рассматривается влияние двух рыночных механизмов на состояние минерально-сырьевой базы: 1) определение цены минерального сырья на бирже и 2) соотношение темпов роста цен минерального сырья и стоимости товаров, работ и услуг.

Для обозначения проблемы важно осознание необходимости специального исследования, чтобы показать пагубность рыночных механизмов для состояния минерально-сырьевой базы и обосновать минимизацию или полное исключение их влияния. Это возможно следующим образом: 1) на основе обстоятельных геолого-экономических расчетов необходимо фиксировать стоимость минерального сырья на сроки, сопоставимые с длительностью цикла воспроизводства минерально-сырьевой базы (~10–15 лет) и 2) на этот срок фиксировать курс национальной валюты по уров-

ню обеспеченности ликвидным минеральным сырьем. Автор осознает возможные сложности в реализации подобных намерений, но, в то же время, убежден в необходимости скорейшего и неизбежного их разрешения.

В структуре затрат цеховые расходы по добыче и переработке руд составляют 23–25 %. Основные затраты (~75 %) связаны с транспортировкой и содержанием коммуникаций, капитальными вложениями (или их компенсацией), созданием социальной инфраструктуры, налогами и платежами.

Таким образом, средства горнодобывающих компаний поглощаются не собственно горнодобывающей деятельностью, а, так сказать, сопутствующими расходами. Они не образуют накоплений, а являются чистыми затратами. Они непреклонно растут ежегодно и ежеквартально, отражая, в первую очередь, рост цен монополистов, которые маскируют под «инфляцию» рост своих доходов. Этим 23–25 % средств недостаточно для обновления фондов и внедрения новых технологий. В более выгодном положении оказались компании, вложившие ранее крупные средства в создание основных фондов, но период благополучия слишком короток, всего 7–10 лет: первые 5–7 лет – возврат инвестиций, затем благополучие, а потом снова нужно вкладывать деньги в модернизацию и развитие производства.

Экономическая система, называемая рыночной экономикой, не имеет ни одного твердого эталонного показателя. Ценность рубля декларируется, а не измеряется национальным продуктом, который имеет только физические показатели (объем, вес), а его стоимостные показатели плавают. Деньги (новые деньги – прибыли) создаются не в сфере производства, а в сфере распределения (на рынке), в финансовой сфере. Их прибыли – это убытки производителей продукта. Базовая часть экономики, прежде всего минерально-сырьевые ресурсы, не развивается, а находится в поиске инвесторов. Вывод напрашивается самопроизвольно: сфера обслуживания экономики, в том числе финансы и распределение, нуждаются в постоянном государственном регулировании в таком объеме, чтобы свобода и регулирование составляли диалектическую пару противоположностей [Бакулин, Жукова, 2009].

Периодически возникает мысль о том, что необходимо «слезть» с минерально-сырьевой «иглы» и заняться инновациями. Но зачем их противопоставлять? Минерально-сырьевой комплекс представляет собой благодатную сферу разработки и внедрения инноваций в разнообразные, интересные в научном и практическом отношении проблемы. Взять хотя бы коэффициент извлечения нефти – на каждую добытую тонну нефти в недрах теряется 2 т. Много направлений в вопросах охраны окружающей среды. В заключение следует еще раз повторить главную мысль – минерально-сырьевая база требует целенаправленных действий по ее защите как главного национального достояния.

Литература

Бакулин Ю. И., Жукова И. В. Объективные закономерности развития. Введение в проблему. Хабаровск: Изд. ТОГУ, 2009. 56 с.

Заключение по результатам аудиторской проверки МПР РРФ аудитора Счетной палаты РФ А. А. Пискунова. Бюллетень Счетной палаты Российской Федерации № 4 (136), 2009 (<http://www.ach.gov.ru>).

В. А. Коротеев¹, А. Н. Савичев², В. Н. Огородников², Ю. А. Поленов²

¹ – *Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург*

koroteev@igg.uran.ru

² – *Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург*

FGG.GL@m.ursmu.ru

Техногенные кианитовые россыпи – перспективные объекты комплексного сырья

Вовлечение минералов группы силлиманита (кианит, силлиманит, андалузит) в производство высокоглиноземистых огнеупоров с целью последующего их использования в металлургической промышленности невозможно без освоения новых источников высокоглиноземистого сырья [Коротеев и др., 2011, 2012]. Одним из таких сырьевых источников является Андрее-Юльевская группа кианитсодержащих техногенных образований [Огородников и др., 2012].

Андрее-Юльевская группа техногенных месторождений кианита накоплена в результате отработки Еленинской и Андреевской аллювиальных золотоносных россыпей, разработка которых велась гидравлическим способом вплоть до середины 90-х годов XX века. Из других потенциально полезных компонентов в золотоносных россыпях присутствовали кианит, рутил, ильменит, хромит, монацит и др. В связи с низкими содержаниями этих минералов в аллювиальных отложениях в качестве попутных компонентов вышеназванные минералы в процессе золотодобычи не рассматривались.

Во время отработки золотоносных россыпей материал подвергался неоднократно механическому воздействию (промывке, перемещению, гравитационной дифференциации, сегрегации и т.п. технологическим процессам), в результате чего его первоначальное качество существенно изменилось: золото извлекалось, а остальной материал перемещался в хвостохранилища или сбрасывался вблизи полигонов добычи. Разведанные запасы аллювиального золота к середине 1990-х годов выработаны полностью. В результате эксплуатации россыпей было накоплено около 10 млн м³ техногенных образований, локализованных на площади более 20 км². Наблюдаемая в их пределах кианитовая минерализация послужила основанием для постановки геологического изучения на кианит. В пределах техногенных образований были изучены техногенные разрезы, включающие техногенные пески вблизи бывших полигонов добычи (0–1.6 м), техногенные пески и илы в бывших хвостохранилищах (0–2.5 и 2.5–6.0 м соответственно).

Проведенные исследования показали, что в процессе гидравлической добычи произошло вторичное накопление минералов тяжелой фракции в техногенных песках, что привело к их концентрации до значений, представляющих интерес для коммерческой добычи (табл. 1).

Среди техногенных образований выделены следующие основные разновидности, положенные в основу литологического расчленения техногенного материала.

Песок техногенный. Макроскопически представлен несортированной рыхлой гравийно-песчаной смесью различной степени лежалости с незначительными (до 3–5 %) включениями щебнистого материала. Цвет песков в интервале 0–30 см – бурый, коричневый, глубже – белый, бежевый, желтый, светло-коричневый. Текстура – слоистая, косослоистая. Структура – псефито-псаммитовая. По гранулометрическому

Таблица 1

**Сравнительная характеристика содержания минералов
в золотоносных (первичных) россыпях и в техногенных образованиях**

Минералы	Содержание минералов в золотоносных россыпях*			Содержание минералов в техногенных песках		Степень техногенной концентрации, разы
	Ед. изм.	Андреевская	Еленинская	п ? 10 ⁻³ %	г/м ³	
Золото	мг/м ³	216	213		54 мг/м ³	
Кианит	г/м ³	4.7	26		7722	500
Рутил		2.1	2.3	0.073	2080**	900
Ильменит		4.7	5.2	0.074	3953**	790
Пиролозит		н.д.	0.2	25	425**	Более 2000
Хромит		1.8	1.2	27	469**	390
Сфалерит		н.д.	2.4	8.3	141**	58

Примечание. н.д. – нет данных, * – по данным геологоразведочных работ, ** – пересчитано на минералы.

составу техногенные пески относятся к средним, крупным и гравелитистым. Минеральный состав техногенных песков довольно однообразный, и их можно отнести к мономинеральным кварцевым пескам (%): кварц (90–95), кианит (0–5), лимонит (0–7), карбонаты (0–5), прочие минералы (рутил, турмалин, пирит, хлорит, магнетит, титаномагнетит, минералы группы слюд, <1 %). Техногенные пески содержат основное количество кианита и отнесены к продуктивным толщам.

Ил техногенный. В эту группу включены высокоглинистые образования (преимущественно глина) белого, серого, коричневого и бурого цветов. Отдельные участки сложены алевритовыми глинами и алевритами. Текстура – массивная и слоистая. Структуры алевритовые и пелитовые, часто смешанные. Консистенция – мягкопластичная, тугопластичная.

Песок глинистый техногенный – гетерогенная порода, образованная в результате техногенной седиментации во время сброса песчано-глинистой пульпы в хвостохранилища. В полевых условиях порода диагностировалась как суглинки, глинистые пески, песчанистые глины, алевролиты. Характеризуется значительным количеством глинистого или тонко-алевритового материала в составе «основной» массы (50–80 %) с примесью песка.

Техногенные образования были оценены на всю глубину с использованием горно-буровой системой разведки по сети 200 ? 100 м и опробованы бороздовым и керновым способом. Сокращенный количественный минералогический анализ техногенных песков на кианит и золото показал наличие в них промышленных содержаний кианита и убогие содержания золота. Результаты опробования техногенных образований показаны в таблице 2.

По данным химических анализов содержание Al₂O₃ в кианите колеблется от 55.5 до 60.2 мас. % и зависит от фракционного состава кианита. Изменение химического состава кианита в зависимости от фракции приведено на рисунке 1.

Таблица 2

Средние содержания минералов в основных литологических разностях техногенных образований

Литологические разности	ПТ	ПГТ	ПАТ	ИТ	КВ
Среднее содержание кианита, кг/м ³	7.722	0.391	0.263	0.053	0.164
Среднее содержание золота, г/т	0.032	0.038	0.022	0.039	0.038

Примечание. ПТ – пески техногенные, ПГТ – пески глинистые техногенные, ПАТ – пески алевритовые техногенные, ИТ – илы техногенные, КВ – кора выветривания.

Возможность определения золотороссыпного потенциала техногенных песков с убогим содержанием золота связывается со способностью части золота концентрироваться с использованием современных центробежных концентраторов. Для усовершенствования методологии геологического изучения техногенных образований на золото нами был использован «концентратный» метод опробования [Афанасенко,

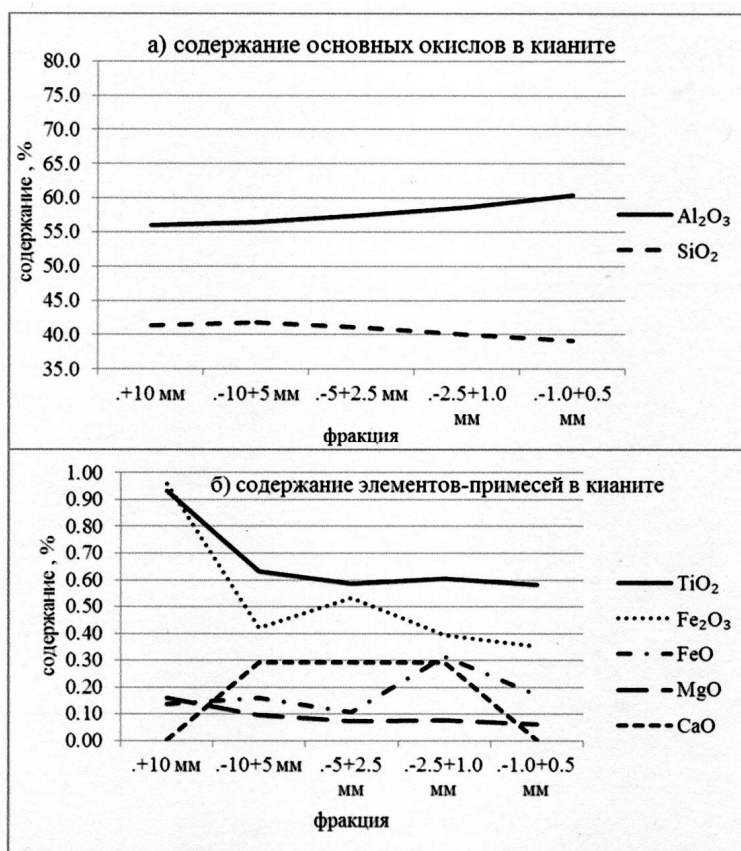


Рис. 1. Изменение содержания основных окислов Al₂O₃ – SiO₂ (а) и элементов-примесей (б) в монофракциях кианита разного фракционного состава.

Лазариди, 2012; Афанасенко и др., 2012]. При опробовании техногенных песков в схему пробоподготовки была включена операция гравитационного обогащения (один цикл) с использованием центробежного концентратора «ИТОМАК-0.1». Проведено опробование на золото по схеме: рядовая проба (шламы промывки) – концентратная проба – хвосты. Результаты опробования показали, что даже при убогих содержаниях валового золота в техногенных песках (на уровне 0.02–0.03 г/т) 55.2 % проб обладают способностью к концентрации золота в продуктах обогащения (рис. 2), т.е. из техногенных песков с убогим содержанием золота возможно извлечение золотосодержащего концентрата – попутного «промпродукта» при добыче кианита.

Спектральный анализ исходных проб показал повышенные концентрации в техногенных песках Cr, Mn, Ti, Zn, Ba, Zr. Они связываются с наличием в песках хромита, марганцевых минералов (пирролюзита и псиломелана), рутила и ильменита, сфалерита, барита и циркона. Использование «концентратного» метода опробования для изучения техногенных песков совместно со спектральным анализом на 31 элемент позволило выделить в них наиболее извлекаемые минералы. Результаты спектрального анализа техногенных песков показывают увеличение содержаний Cr, Mn, Ti, Zn, Ba и Zr в концентрированных пробах, что говорит о возможном извлечении связанных с этими элементами минералов в концентраты.

Из этой группы элементов наибольший интерес представляет Ti. По данным Геологической службы США [2011], стоимость рутилового концентрата в период с 2007 по 2011 г. выросла с 488 \$/т до 1400 \$/т, что делает коммерчески привлекательной попутную добычу рутила из техногенных песков.

На основании проведенных исследований была разработана принципиальная технологическая схема обогащения техногенных песков Андрее-Юльевского техногенного месторождения кианита. Согласно этой схеме предполагается получение трех товарных продуктов: 1) кианитового концентрата (основной продукт); 2) золотосодержащего концентрата (попутный продукт) и 3) рутилового концентрата (попутный продукт).

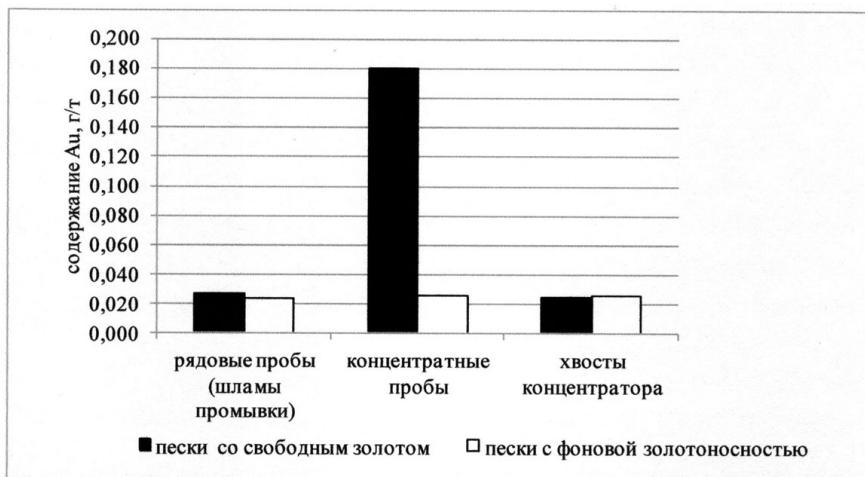


Рис. 2. Увеличение содержания извлекаемого золота в концентратных пробах из техногенных песков с фоновой убогой золотоносностью с использованием в процессе пробоподготовки лабораторного центробежного концентратора «ИТОМАК -0.1».

Таким образом, в результате геологических исследований Андрее-Юльевского техногенного месторождения кианита, использование в процессе работ «концентратного» метода опробования позволило выявить золотороссыпной потенциал техногенных песков с убогим содержанием золота и дополнительно выделить в качестве полезного компонента рутил. Комплексное использование полезных компонентов содержащихся в техногенных песках Андрее-Юльевского месторождения значительно улучшит технико-экономические показатели эксплуатации.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований № 14-23-24-27 Президиума РАН и Интеграционного проекта «Развитие минерально-сырьевой базы России», руководитель проекта академик РАН В. А. Коротеев. Частичное финансирование осуществлялось по госбюджетной теме 5.4667.2011 (Г-3 УГТУ) «Исследование генетических типов месторождений группы кианита», руководитель профессор В. Н. Огородников.

Литература

Афанасенко С. И., Лазариди А. Н. Практика применения концентраторов «Итомак» для добычи мелкого, тонкого и связанного золота из техногенного сырья. <http://www.itomak.ru>, 2012.

Афанасенко С. И., Лазариди А. Н., Петров В. Г. Опыт использования центробежно-гравитационного аппарата «Итомак-0.1» при разведке золоторудного месторождения. <http://www.itomak.ru>, 2012.

Коротеев В. А., Савичев А. Н., Перепелицын В. А. и др. Развитие минерально-сырьевой базы России: освоение новых источников высокоглиноземистого сырья (минералы группы силлиманита и пирофиллита, каолины, золы и др. – МГС) // Проблемы минерагении России. М.: ГЦ РАН, 2012. С. 189–203.

Коротеев В. А., Огородников В. Н., Войтеховский Ю. Л. и др. Небокситовое алюминиевое сырье России. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 227 с.

Огородников В. Н., Коротеев В. А., Войтеховский Ю. Л. и др. Кианитовые руды России. Екатеринбург: УрО РАН, 2012. 334 с.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY: October 20, 2011. <http://www.usgs.gov/pubprod>.

Е. Б. Дайнеко¹, А. М. Юминов², А. Г. Токарев¹

¹ – Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков

Caterine@i.ua

² – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе;

umin@mineralogy.ru

Пирофиллитсодержащие породы Курьяновского и Овручского месторождений (Украина) как сырье для производства плотнospеченной керамики (научные руководители В. В. Зайков, Е. Ю. Федоренко)

В современной керамической промышленности повышаются требования к качеству готовой продукции, что особенно относится к технической керамике, от качества которой зависит работа целого комплекса. Для производства изделий из фарфора разного функционального назначения одной из наиболее актуальных задач является повышение их механической прочности. Традиционно это достигалось пу-

тем повышения содержания высококачественного глиноземсодержащего сырья. Однако данный подход ведет к повышению температуры формирования фарфоровых изделий и, как следствие, увеличению их себестоимости. Более перспективным является использование нетрадиционных глиноземсодержащих сырьевых компонентов, в частности, пирофиллита, что позволяет не только заменить часть дорогостоящего сырья, но и снизить температуру обжига изделий без ухудшения их эксплуатационных свойств.

Предварительные исследования пирофиллитов Чистогоровского месторождения (Челябинская обл., Россия) показали положительные результаты использования этого сырья в качестве компонента масс для получения плотноспеченной керамики при 1150 °С [Федоренко и др., 2012; патент, 2012]. Также была изучена возможность применения данного пирофиллита в составах масс электроизоляционного фарфора с пониженной температурой термообработки 1200 °С [Дайнеко и др., 2012]. Полученные образцы отличаются тонкодисперсной стекломолитовой структурой, характеризуются водопоглощением 0.1 %, электросопротивлением $c_v = 6 \cdot 10^8$ Ом·м и удовлетворяют требованиям действующего стандарта на керамические изделия электротехнического назначения [Материалы..., 1983].

Цель настоящего исследования – определить возможность применения пирофиллитового сырья украинских месторождений в производстве плотноспеченной керамики разного функционального назначения. Основной задачей работы являлось определение структурно-текстурных, минералогических и химических особенностей пирофиллитсодержащих пород Курьяновского и Овручского месторождений.

Наиболее крупные пирофиллитовые месторождения Украины (Нагорянское, Девошинское, Курьяновское, Шисаловское и др.) находятся на северо-западе Украинского щита в Овручской рифтогенной зоне, верхняя часть которой сложена метаморфизированными вулканогенно-осадочными образованиями верхнего докембрия [Гурский и др., 2006]. По мнению Е. М. Танкилевича [1963], генезис пирофиллита связан с процессом метасоматического преобразования тонкослоистых туфов и перетложения туфо-каолинитового материала.

Курьяновское месторождение пирофиллитовых сланцев расположено в 16.5 км к юго-западу от г. Овруч (Житомирская обл., Украина). Рудная залежь представлена серией пластообразных тел пирофиллитсодержащих пород, секущих вмещающие кварциты. Параметры тела: длина 250–300 м, ширина – 150 м, мощность – 30–40 м. Падение северо-западное под углом 10–15°. Запасы месторождения по состоянию на 1987 г. оценены в 35.3 тыс. т [Зайков и др., 1989].

Месторождение интенсивно разрабатывалось в 30х–80х гг. прошлого века, но в связи с распадом Советского Союза его эксплуатация была прекращена. В настоящее время на месторождении находятся руины промышленных зданий, засыпанное устье шахты и многочисленные отвалы, сложенные глинисто-щебнистым материалом плотных жирных кремневых и розовато-серых пирофиллитсодержащих пород плитчатого облика. Структура пород тонкозернистая, текстура полосчатая, выраженная в ритмичном чередовании красновато-коричневых слоев мощностью 0.3–1.2 мм, содержащих небольшое количество пылеватого гематита.

Рентгенофазовый анализ бороздовой пробы ОВ-12, отобранной на поверхности большого отвала, показал присутствие (%) каолинита (51), пирофиллита (25), кварца (14) и серицита (10) (здесь и далее: дифрактометр Shimadzu XRD-6000 с узкофокальной трубкой, аналитик П. В. Хворов, Институт минералогии УрО РАН). Пирофиллит

образует игольчато-призматические и пластинчато-лапчатые агрегаты размером 50–100 мкм. Акцессорная минерализация представлена рутилом, эпидотом, гетитом и пиритом.

Пирофиллитовая минерализация установлена на Толкачевском участке Овручского месторождения кварцитов, которое в настоящий момент разрабатывается ГОКом «Кварцит». Предприятие осуществляет добычу, помол и обогащение пород для производства динасовых огнеупоров. Пирофиллитовая минерализация во вмещающих кварцитах образует несколько последовательно соединенных зон поперечником 20–50 м и прослеживается на глубину более 100 м. Пирофиллиты образуют отдельные линзы или прослои мощностью до 1–7 см. Наибольшие слои выдержаны по мощности и прослеживаются на расстояние 4–8 м. Рентгенофазовый анализ материала бороздовой пробы показал присутствие (%) пирофиллита (39), кварца (31), каолинита (14), гематита (8) и серицита (7). Акцессорная минерализация представлена рутилом, сидеритом, пиритом.

Результаты многочисленных технологических испытаний свидетельствуют о том, что наиболее высококачественным сырьем на территории бывшего СССР являются пирофиллиты Курьяновского месторождения [Зайков и др., 1989].

Химический анализ пирофиллитсодержащих отвальных пород Курьяновского месторождения (проба ОВ-12) и сланцев Овручского месторождения (проба ОВ-1) выполнен в Институте минералогии УрО РАН, аналитики М. Н. Маляренко и М. С. Свиренко (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Химический состав исследуемого технического сырья

Проба	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.	Сумма
ОВ-1	64.60	0.92	22.70	5.52	0.18	0.01	0.05	0.09	0.05	0.32	4.68	99.34
ОВ-12	61.36	0.68	29.53	1.05	<0.10	<0.01	0.02	<0.01	0.05	0.04	6.44	99.35

Результаты анализа указывают на значительное содержание в породах оксидов железа и титана. Тем не менее, количество красящих оксидов ($Fe_2O_3 + FeO + TiO_2 \leq 2.5\%$) в курьяновских породах удовлетворяет требованиям к сырью для керамической промышленности [Бакунов и др., 2011]. Количество щелочных окислов в породе крайне мало и составляет <0.1 %, что свидетельствует о перспективности использования такого сырья в огнеупорной промышленности. По содержанию оксида алюминия сырье относится к глиноземистому (Al₂O₃ 29.53 %).

Учитывая, что Овручское и Курьяновское месторождения расположены во второй чернобыльской зоне, для определения безопасности его использования при производстве керамических материалов широкого потребления изучены радиационные свойства сырья. Исследования проводили с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра СЕГ-001 «АКП-С» на кафедре химии ХНАДУ, аналитик М. И. Игнатенко. Определены удельные активности естественных радионуклидов (C_i) в образцах и суммарная эффективная удельная активность (C_{эфф}) естественных радионуклидов (ЕРН) в соответствии с Нормами радиационной безопасности Украины [Нормы... , 1997]. Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты гамма-спектрометрического анализа проб

Проба	$C_{эфф}$, Бк/кг	$C_{сум}$, Бк/кг	C_i , Бк/кг (вклад, %)		
			^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
ОВ-1	192 ± 17.0	241.0	106 (44.0)	45.6 (18.9)	89.4 (37.1)
ОВ-12	305 ± 24.6	455.7	187 (41.0)	39.7 (8.7)	229 (50.3)

Результаты гамма-спектрометрического исследования показали, что в состав исследованных образцов входят следующие ЕРН: ^{40}K (в, г – излучатель) и представители радиоактивных семейств ^{226}Ra , ^{232}Th (б, г – излучатели). Основной вклад в суммарную активность ($C_{сум}$) исследованных образцов вносят изотопы ^{40}K и ^{232}Th . Полученные данные свидетельствуют о том, что по величине суммарной активности ЕРН исследованные образцы пород относятся к первому классу радиационной опасности ($C_{эфф} \leq 370$ Бк/кг), что позволяет рекомендовать их для использования в производстве строительной и технической керамики без ограничения.

На наш взгляд, использование пиррофиллитовых пород украинских месторождений в производстве плотноспеченной керамики разного функционального назначения позволит не только расширить сырьевую базу производств и частично заменить традиционно используемое дорогостоящее сырье, но и улучшить качество химически стойких, санитарных и электротехнических изделий.

В настоящее время с использованием комплекса расчетных методик с учетом технологических особенностей производства разработаны шихтовые составы низкотемпературного фарфора разного функционального назначения. Прогнозные расчеты позволили предварительно оценить свойства материалов, которые могут быть получены при использовании спроектированных сырьевых композиций. Так, для электротехнического фарфора с температурой формирования 1200–1250 °С определены диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 7.1973$ (при регламентируемом для муллитокремнеземистой керамики значении данного показателя 6.5–9.0) и тангенс угла диэлектрических потерь $tg \delta = 0.0041$ (при требуемом уровне в пределах 0.003–0.006). Численно оценить химическую стойкость проектируемых материалов не представляется возможным, однако расчет фазового состава продуктов обжига свидетельствует о вероятном формировании значительного количества муллита, что, при условии максимальной степени спекания материала, обеспечит его высокую кислото- и щелочестойкость.

В дальнейшем в лаборатории функциональной керамики и композиционных покрытий НТУ «ХПИ» будут изучены процессы, сопровождающие формирование низкотемпературного фарфора и изготовлены пробные партии образцов фарфора разного назначения: санитарно-технического, химически стойкого и электротехнического.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить химико-минеральный состав пиррофиллитовых пород Овручского и Курьяновского месторождений, изучить радиологические свойства материалов и установить возможность их использования при производстве строительной и технической керамики. Основываясь на положительном опыте получения энергоэффективной плотноспеченной керамики строительного и электротехнического назначения с использованием пиррофиллитов Чистогоровского месторождения (Челябинская обл., Россия), принято решение

о проведении поисковых исследований с целью установления целесообразности и возможных перспектив применения пиррофиллитовых пород украинских месторождений в производстве низкотемпературного фарфора разной номенклатуры.

Литература

Бакунов В. С., Мурзакова А. Р., Шаяхметов Р. У. и др. Пиррофиллитовое сырье месторождения Куль-Юрт-Гау как основа керамических композитов // *Стекло и керамика*. 2011. № 12. С. 23–27.

Гурський Д. С., Єсипчук К. Ю., Калінін В. І. та ін. Металічні та неметалічні корисні копалини України. Том 2. Неметалічні корисні копалини. Київ-Львів: Центр Європи, 2006. 174 с.

Дайнеко Е. Б., Юминов А. М., Рыщенко М. И. и др. Низкотемпературный электротехнический фарфор // *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и в производстве строительных материалов: Международная научно-техническая конференция: материалы конф.* Минск: БГТУ, 2012. Ч. 1. С. 91–94.

Зайков В. В., Кораблев Г. Г., Удачин В. Н. Пиррофиллитовое сырье палеовулканических областей. М.: Наука, 1989. 128 с.

Материалы керамические электротехнические. Классификация и технические требования: ГОСТ 20419–83 (2002). М.: Межгосударственный стандарт, 1983. 8 с.

Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). К.: МОЗ, 1997. 121 с.

Пат. № 73894 Україна, МПК⁶ С 04 В 33/00. Керамічна маса для виготовлення білого керамограніту / Г. В. Лісачук, Ю. Д. Трусова, Л. О. Білостоцька, Л. В. Павлова, О. Ю. Федоренко, В. В. Зайков, А. М. Юминов; заявник та власник патенту Національний технічний університет «ХПІ» – № у 201203768; заявл. 28.03.2012; опубл. 10.10.2012, Бюл. № 16.

Федоренко Е. Ю., Дайнеко Е. Б., Юминов А. М. и др. Перспективы получения плотноспеченной керамики на основе кварц-пиррофиллитовых и плагиоклаз-серицитовых пород // *Металлогения древних и современных океанов–2012. Гидротермальные поля и руды*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2012. С. 317–323.

А. И. Голубев, А. Е. Ромашкин

*Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск,
golybev@krc.karelia.ru*

Минерагения углеродсодержащих формаций протерозоя Карелии (Онежская структура)

Онежская синклиновая структура Карелии, расположенная в юго-восточной части Фенноскандинавского щита, является областью развития палеопротерозойских образований в диапазоне возрастов 2.5–1.75 млрд лет. Здесь широко представлены магматические и вулканогенно-осадочные толщи, а также широкий спектр морских и субаквальных осадочных формаций значительной мощности [Онежская..., 2011]. Онежский синклинорий является уникальным объектом, хранящим записи геологической истории о большом количестве событий, в т.ч. и глобальных, произошедших в течение примерно 500 млн лет геологического развития Земли. Среди целого ряда последовательных событий, отмечающих глобальные изменения архейско-протерозойского перехода, здесь отчетливо проявлены такие из них, как гуронское оледенение (2.4 млрд лет), появление свободного кислорода в атмосфере (ятулийские

красноцветы, 2.2 млрд лет), строматолитовое карбонатонакопление с аномально тяжелым изотопным составом углерода (событие Ломагунди–ятулий, 2.1 млрд лет), древнейшие эвапоритовые толщи ятулия, массовое накопление свободного углерода изотопно-легкого состава (событие Шуньга, 2.0 млрд лет). Эти события отмечают резкие перестройки в режимах осадконакопления, глобальных циклах кислорода, углерода, а также серы и фосфора [Melezhik et al., 2013]. Стратиграфическая последовательность, отражающая трансгрессивные циклы и импульсы магматизма, рассмотрена в ряде работ [Онежская..., 2011; Голубев и др., 2010]. В данной публикации основное внимание уделено углеродсодержащей формации Онежского синклинория, содержащей свободный или органический углерод ($C_{орг.}$) в породах людиковийского (2.1 млрд лет) и калевийского (1.92–1.8 млрд лет) надгоризонтов. Образования этого уровня соответствуют трансгрессивно-регрессивному циклу с нарастанием напряженности магматизма и его вспышкой на максимуме прогибания бассейна.

Выделяемая в составе людиковийского надгоризонта заонежская свита отвечает трансгрессивному этапу с накоплением большого количества биогенного углерода в формирующихся осадках. Порода углеродсодержащей свиты залегают непосредственно на ятулийских строматолитовых карбонатах. Биогенное накопление углеродсодержащих осадков прерывается мощной вспышкой мафит-ультрамафитового магматизма, подавившего биологическую активность в бассейне. Этот уровень представлен осадочно-вулканогенными образованиями суйсарской свиты людиковийского надгоризонта, а регрессивный этап – турбидитами кондопожской свиты калевийского надгоризонта. В это время территория перешла в пассивный тектонический режим, где в условиях континентального склона формируются толщи ритмичных турбидитных осадков с участием размывающихся людиковийских углеродсодержащих образований, что привело к переотложению части свободного углерода в терригенных породах кондопожской свиты [Голубев и др., 2010]. Основная масса $C_{орг.}$ находится в составе заонежской свиты людиковия, что определяет минерагеническую специализацию пород этой свиты: формирование вторичных высокоуглеродистых пород, являющихся полезным ископаемым; концентрацию уран-ванадиевого и благороднометалльного оруденения в зонах складчато-разрывных дислокаций (СРД) и появление древнейших микропрослоев фосфатов.

Высокоуглеродистые шунгитовые породы. Порода заонежской свиты содержат углерод, относимый по структурному состоянию к шунгиту, поэтому и породы традиционно называются шунгитсодержащими. Содержание $C_{орг.}$ варьирует от долей до 70 мас. % в породах и до 98 мас. % – в антраколитах. В настоящее время фирма «Карбон-Шунгит» ведет промышленную разработку максовитов – шунгитсодержащих пород с существенно кремнистой минеральной основой и содержанием $C_{орг.}$ ~ 30 мас. %, находящихся применение в металлургии, производстве алюминия, фильтров для воды, наполнителей пластмасс и в ряде других областей. Максовиты – черные пелитовые (реже алевритовые) породы с раковистым изломом, массивной или брекчиевидной текстурой, без первичной осадочной слоистости. Для этих высококремнистых (~ 80 мас. % SiO_2) и высокоуглеродистых (20–40 мас. % $C_{орг.}$) пород характерно присутствие слюд (фенгит, флогопит), иногда КППШ. По данным СЭМ, структура породы представлена аутигенными сростками плохо раскристаллизованного кварца (нередко с реликтами халцедоновой или тридимит-опаловой структуры) со слюдами и КППШ, «плавающими» в углеродном матриксе. Максовиты, как правило, сосредоточены в резко локализованных обособлениях, часто куполовидной формы мощностью до 120 м и размерами в плане до 500 ? 800 м (Максовская залежь). Эти особенности

не позволяют считать максовиты первично осадочными породами. Модель формирования залежей таких пород предусматривает образование органоминеральных комплексов, их дифференциацию, концентрирование и пластичные деформации.

Зоны складчато-разрывных дислокаций (СРД). Уран-ванадиевое и благородно-метальное оруденение в зонах СРД – еще один феномен, связанный с углеродистыми толщами Онежской структуры. Согласно [Голубев, Новиков, 2005; Кулешевич, Голубев, 2011], зоны СРД представляют собой линейные системы СЗ простираения, содержащие гребневидные складки ятулийских пород и серии сближенных продольных и оперяющих разломов, клиновидные зоны дробления во вмещающих заонежских породах. Узкие протяженные складки («линейные диапиры») карбонатных пород быстро затухают вверх и не прослеживаются вниз по разрезу. Система продольных и оперяющих дислокаций образует мелкоблоковое строение складок и зоны дробления как в карбонатных ядрах складок, так и, преимущественно, в бортовых углеродсодержащих осадках заонежской свиты. На зоны дробления накладывается интенсивный метасоматоз, телескопируется полиметальное оруденение так называемого падминского типа. Помимо преобладающего уран-ванадиевого оруденения, здесь концентрируются Au, ЭПГ, Ag, Mo, Bi, Cu, Se, Re и ряд других металлов. Ореолы концентрации различных элементов перекрываются, но не совпадают и образуют зональность. Как уже отмечалось, подавляющая часть рудных тел концентрируется на границе карбонатных ядер складок и их углеродсодержащих крыльев, непосредственно в заонежских осадках. Известно несколько месторождений и рудопроявлений падминского типа в зонах СРД Онежской палеопротерозойской структуры: Верхняя и Средняя Падма, Космозеро, Весеннее, Царевское и др. Следует отметить, что система линейных разломов распространяется по простираению и в гранито-гнейсовое основание структуры, но значимого оруденения в них не выявлено.

Исходя из указанных особенностей, можно предполагать, что источником рудного вещества при формировании этих проявлений являлись углеродсодержащие породы заонежской свиты, осадившие на мощном восстановительном барьере и накопившие большое количество различных металлов. Толща этих осадков являлась резервуаром, ресурсы которого использовались для концентрации и переотложения рудных нагрузок в процессе последующих тектонических деформаций и метасоматической проработки в зонах СРД.

Древнейшие фосфоритовые прослои являются третьей особенностью Онежской структуры, проявленной в высокоуглеродистых и карбонатных породах заонежской свиты [Ромашкин и др., 2012; Melezhik et al., 2013]. В отличие от известных ранее протерозойских фосфоритов, являющихся преимущественно конкрециями и конкреционными горизонтами [Мележик и др., 1989; Созинов и др., 1989], заонежские представляют собой тонкие фосфатные прослои в высокоуглеродистой (шунгитовой) породе, а также перекристаллизованные остатки апатитовых микрослоев в карбонатах.

Фосфатные микропрослои в шунгитах мощностью в доли миллиметра группируются в прослои из сближенных слоев мощностью до 2–3, реже 5 мм. По данным микронзондового анализа фосфаты представлены фторапатитом. В этих обогащенных фосфатом прослоях, кроме собственно апатитовых выделений отмечаются микрослои и линзочки флогопита, а также высокоуглеродистой породы. Микрослойки фосфорита состоят из тесно сгруппированных комковатых и линзовидных обособлений различной степени чистоты. Заметны пластичные деформации вещества, свидетельствующие об образовании микрослоев в нелитифицированном осадке. В составе фосфатных линзочек всегда присутствует органическое вещество (ОВ). Часто оно

располагается по их границам и обогащенным зонам. Отчетливо проявляется процесс перекристаллизации фосфата, приводящий к появлению чистого апатита по отдельным зонам и прожилкам (рис., см. вкладку, с. 157). Сохранение флогопитовых и фосфатных микрослоев и линз, их общий слоисто-деформационный план, совпадающий со слоистостью вмещающих шунгитовых пород, указывает на их совместное образование.

Фосфор – элемент, входящий в биологический цикл и, соответственно, накапливающийся в первичном органическом веществе. Известны хемогенные и биогенные модели осаждения фосфата [Холодов, 2003], причем в последнее время приоритет отдается биогенно-осадочной модели. Вывод фосфора из биогенных соединений предполагает деструкцию ОВ. В состав микробного сообщества, провоцирующего фосфатогенез на редокс-клине в начале диагенетических преобразований осадка, можно включить анаэробных метанотрофов *archaea* [Qu et al., 2012], а также сульфат-редуцирующих и сероокисляющих бактерий. Таким образом, контрастные условия в колонке породы, при достаточной аэрации верхнего слоя рыхлого осадка, могут создавать условия для образования растворимых комплексов фосфора, а затем их выделения в виде франколита, который при метаморфизме перекристаллизовался во фторапатит.

Рассмотренные минерагенические феномены углеродсодержащей формации Онежского синклинория непосредственно связаны с присутствием здесь значительного количества первично осадочного органического вещества и его последующими преобразованиями.

Литература

Голубев А. И., Новиков Ю. Н. Геологическое строение и уран-ванадиевые месторождения Заонежья // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск, 2005. С. 4–13.

Голубев А. И., Ромашикин А. Е., Рычанчик Д. В. Связь углеродонакопления с основным вулканизмом в палеопротерозое Карелии (ятулийско-людиковийский переход) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 13. Петрозаводск, 2010. С. 73–79.

Кулешевич Л. В., Голубев А. И. благороднометалльная минерализация в щелочных метасоматитах Средней Падмы Онежской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 14. Петрозаводск, 2011. С. 113–126.

Мележик В. А., Предовский А. А., Басалаев А. А. Эволюция докембрийского конкрецеобразования – отражение направленных изменений условий экзогенеза (Балтийский щит) // Конкрекции докембрия. Л.: Наука, 1989. С. 35–44.

Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерагения) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щицков. Петрозаводск, 2011. 431 с.

Ромашкин А. Е., Лепланд А., Йёсу и др. Фосфоритовый горизонт высокоуглеродистых пород людиковия Онежской структуры // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 15. Петрозаводск, 2012. С. 62–69.

Созинов Н. А., Горбачев С. В., Чистякова Н. Н. и др. Углеродисто-фосфатные конкрекции в докембрии и фанерозое (сходство и различия) // Конкрекции докембрия. Л.: Наука, 1989. С. 51–59.

Холодов В. Н. Геохимия фосфора и происхождение фосфоритов. Сообщение 2. Источники фосфора на континенте и генезис морских фосфоритов // Литология и полезные ископаемые. 2003. № 6. С. 563–585.

Qu Y., Crne A. E., Lepland A., Van Zuilen M. A. Methanotrophy in a Paleoproterozoic oil field ecosystem, Zaonega Formation, Karelia, Russia. // Geobiology. 2012. Vol. 10. P. 467–478.

Melezhik V. A., Kump L. R., Fallick A. E., Strauss H., Hanski E. J., Prave A. R., Lepland A. (eds.). Reading the Archive of Earth's Oxygenation. Volume 3: Global Events and the Fennoscandian Arctic Russia – Drilling Early Earth Project // Series: Frontiers in Earth Sciences. Springer, Heidelberg, 2013. P. 1049–1552.

***А. В. Чадченко¹, Е. А. Мустакимова¹, В. А. Крылатов¹,
И. Б. Моисеев², П. И. Пирожок², А. М. Кулбаков²***

*¹ – Учалинский филиал ОАО «Башкиргеология», г. Учалы
uchgeo1@yandex.ru*

*² – ОАО «Учалинский ГОК», г. Учалы
ogg_moiseev_ib@ugok.ru*

Результаты поисковых и оценочных работ на флангах Озерного и Западно-Озерного медноколчеданных месторождений (Башкортостан)

Поисковые и оценочные работы на флангах Озерного и Западно-Озерного месторождений выполнялись Учалинским филиалом ОАО «Башкиргеология» по договорам подряда за счет собственных средств ОАО «Учалинский ГОК». Геологоразведочные работы (ГРП) проводились в соответствии с техническими (геологическими) заданиями и проектами, прошедшими в установленном порядке государственную экспертизу.

Целевым назначением работ на лицензионных участках было выявление медноколчеданных руд на глубинах до 600–700 м, локализация и оценка прогнозных ресурсов по категориям P_1 и P_2 , а на установленных проявлениях и участках детализации – подсчет запасов руды и основных компонентов по категориям C_2 и C_1 .

В пределах геологического отвода *Озерного месторождения* ГРП проводились в 2009–2011 гг. Для выполнения геологических задач было пробурено девять поисковых скважин (5483 м) глубиной от 400–810 м; отобрано 40 рядовых и 1054 литогеохимических проб для проведения химических и спектральных анализов; описано 50 шлифов и 10 полированных шлифов; проведены наземные (МЗТ) и скважинные геофизические исследования (КС, ПС, МСК, ГК); проведены геологическая документация керна, опробование, лабораторные и камеральные работы. Целевое назначение работ по выявлению медноколчеданных руд в пределах геологического отвода на флангах Озерного месторождения на глубинах до 700 м не выполнено, поскольку не встречены рудные подсечения. Несмотря на это получены обнадеживающие данные, которые позволят более целенаправленно проводить дальнейшие геологоразведочные работы.

В результате выполненных работ с учетом ранее проведенных исследований [Гаврилов, Баранов, Ипатов, 2001ф; Минеральные..., 1994; Пирожок и др., 2002] уточнено геологическое строение северного и западного флангов Озерного месторождения. Обозначены контуры северо-западной кислой вулканокупольной постройки, выходящей на поверхность и резко погружающейся на северо-восточном и восточном флангах, где она перекрыта мощной толщей улутауских вулканогенно-

осадочных отложений, образующих палеодепрессию, что подтверждено бурением скважин отчетного периода. Рудоносный уровень колчеданного оруденения здесь, вероятно, находится на глубинах, превышающих 600 м, о чем свидетельствует разрез скважины 7073, вскрывшей лавокластиты плагиориолитов четвертой толщи карамалыташской свиты с рудокластами, послойной минерализацией, обломками сульфидизированных метасоматитов. Прогнозируемые рудные тела могут быть расположены как на верхнем (уровень Озерного месторождения), так и на нижнем (учалинском) рудоносном уровне второй толщи карамалыташской свиты, поскольку встреченные там кислые вулканы различных фаций преобразованы продуктивными гидротермально-метасоматическими процессами.

По результатам минераграфических исследований полированных шлифов [Масленников, Аюпова и др., 2012ф] определены критерии отнесения обломков сульфидов к рудокластам (истинным обломкам, служащим прямым поисковым признаком на залегающие стратиграфически ниже колчеданные месторождения) или метакластам (обломковидным обособлениям сульфидов с включениями матрицы вмещающих пород, не имеющих прямой связи с рудой).

В пределах выявленной депрессии обозначен перспективный участок, даны конкретные рекомендации по проведению дальнейших геологоразведочных работ.

В пределах геологического отвода *Западно-Озерного месторождения* ГРП проводились в 2009–2012 гг. Для выполнения геологических задач было пробурено 15 поисковых скважин (9918 м) глубиной от 320–800 м; отобрано 95 рядовых и 1954 литогеохимических проб; описано 215 шлифов и 5 полированных шлифов; проведены скважинные геофизические исследования (КС, ПС, МСК, ГК); выполнены геологическая документация керна, опробование, лабораторные и камеральные работы.

Основные результаты проведенных поисковых и оценочных работ на лицензионном участке (фланги Западно-Озерного медноколчеданного месторождения) с учетом ранее проведенных исследований заключаются в следующем:

- на севере лицензионного участка детализировано геологическое строение западной части вулcano-купольной постройки (Межгорной антиклинали), представляющей собой сочетание локальных положительных и отрицательных структур. Перспективы верхнего уровня, связанного с четвертой толщей карамалыташской свиты, до глубин 650–700 м оценены отрицательно, тем не менее, не исключается возможность обнаружения новых рудных тел на нижнем уровне на глубинах до 1000–1200 м;

- в центральной части лицензионного участка установлено синклинное строение кольцевой структуры, являющейся, предположительно, деформированной палеокальдерой; уточнены ее внутренние контуры, положение контактов субвулканических тел андезидацитов; подтверждено широкое распространение карбонат-серицитовых метасоматитов, являющихся надрудными и фланговыми образованиями, свойственными многим известным колчеданным месторождениям Урала; потенциально рудоносный уровень, предположительно, расположенный на дне палеокальдеры, пройденными скважинами не достигнут, вместе с тем, в результате бурения получены дополнительные поисковые признаки возможного присутствия рудной залежи;

- наибольшие перспективы, по заключению сотрудников ИГ УНЦ РАН [Серавкин и др., 2012ф] и нашему мнению, связаны с кольцевой структурой (палеокальдерой); даны конкретные рекомендации по заложению широтного профиля глубоких скважин (800–1200 м) для проверки бурением ее центральной части, где предполагается колчеданная залежь депрессионного структурного положения, и восточного бор-

та палеокальдеры, где возможно присутствие оруденения в положительной структуре карамалыташского уровня.

Таким образом, в результате проведенных поисковых и оценочных работ на флангах Озерного и Западно-Озерного месторождений выявлено два наиболее перспективных участка на медноколчеданное оруденение, которые могут быть рекомендованы в качестве первоочередных при дальнейшем проведении геологического изучения исследуемой площади.

Литература

Гаврилов В. А., Баранов Э. Н., Ипатов Ю. В. Прогноз медноколчеданного и золотого оруденений на Учалинской площади. Отчет по теме 91-7 за 1991–2001 гг. Уфа, 2001ф. Кн. 1, текст. 227 с.

Масленников В. В., Аюпова Н. Р. и др. Научное сопровождение поисково-оценочных работ в пределах лицензионных участков Западно-Озерного и Озерного месторождений. Заключительный отчет. Миасс: ИМин УрО РАН, 2012ф. 117 с.

Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината // *И. Б. Серавкин, П. И. Пирожок, В. Н. Скуратов и др.* Уфа: Башк. кн. изд., 1994. 328 с.

Мустакимова Е. А. и др. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые и оценочные работы в пределах геологического отвода на флангах Озерного медноколчеданного месторождения в Учалинском районе Республики Башкортостан в 2009–2011 гг.». Учалы: УГОК, 2012ф. Кн. 1, текст. 146 л.

Мустакимова Е. А. и др. Отчет о результатах работ по объекту: «Поисковые и оценочные работы на лицензионном участке (фланги Западно-Озерного медноколчеданного месторождения) в Учалинском районе Республики Башкортостан в 2009–2012 гг.». Учалы: УГОК, 2012 ф. Кн. 1, текст. 148 л.

Пирожок П. И., Чадченко А. В., Баранов Э. Н. и др. О необходимости проведения поисково-оценочных работ в рудном поле Озерного медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // *Материалы Республиканской научно-практической конференции.* Уфа: Тау, 2002. С. 619–624.

Серавкин И. Б., Косарев А. М. и др. Уточнение геологического строения флангов Западно-Озерного и Озерного месторождений и оценки их перспектив на медноколчеданные руды. Заключительный отчет. Уфа: ИГ УфНЦ РАН, 2012 ф. 80 с.