

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт природных ресурсов, экологии и криологии  
Сибирского отделения Российской академии наук  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Сибирское отделение Российской академии наук»  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Забайкальский государственный университет»  
Российское минералогическое общество  
Читинское отделение**

**МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА  
ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ  
СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ**

Труды X Всероссийского симпозиума  
«Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и  
XVII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана  
«Рациональное природопользование»,  
«Современное минералообразование»

12–17 августа 2025 г.  
Чита, Россия

Чита  
2025

УДК 549+551.4(075.8)

ББК-26-31

Утверждено к печати Ученым советом  
Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

*Симпозиум организован Институтом природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Сибирским отделением Российской академии наук, Забайкальским государственным университетом и Читинским отделением Российского минералогического общества*

**Редакционная коллегия**

*Г.А. Юргенсон (отв. редактор), Е.С. Эпова, Е.В. Миронова, О.В. Еремин*

**Рецензент**

*К.г.-м.н. П.П. Петровский*

**Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование:** тр. X Всерос. симпозиума и XVII Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана / Ин-т природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Забайкал. гос. ун-т; [отв. ред. Г.А. Юргенсон]. – Чита: изд-во ЗабГУ, 2025. – 248 с.

ISBN 978-5-9566-0532-5

В сборнике представлены материалы X-го Всероссийского симпозиума «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XVII-х Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование», в которых обсуждаются различные аспекты проблем геологии месторождений полезных ископаемых, минералогии и геохимии ландшафта горнорудных территорий, кор выветривания, зон окисления сульфидных месторождений. Приведены новые данные о биогеохимических потоках токсичных элементов, их захвате растениями. Рассмотрены общие проблемы геотехногенеза, современного минералообразования, геохимических барьеров, геоэтики, истории геолого-минералогических исследований и роли Российской академии наук. Уделено особое внимание научному туризму.

Сборник представляет интерес для специалистов в области рудообразования, геохимических методов поисков, процессов гипергенеза, геохимии ландшафта, научного туризма, географов, экологов, недропользователей. Материалы будут полезны для студентов, магистрантов и аспирантов в указанных областях знаний.

Тексты докладов воспроизведены в авторской редакции с незначительной технической правкой.  
[Электронный ресурс] – Электрон. дан. (1 файл: 12,5 Мб) –  
Чита: ИПРЭК СО РАН, ЗабГУ, ЧО РМО, 2025.

УДК 549+551.4(075.8)

ISBN 978-5-9293-3341-5

© Коллектив авторов  
© Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
© Читинское отделение Российского минералогического общества  
© Забайкальский государственный университет, 2025

**MINERALOGY AND GEOCHEMISTRY OF LANDSCAPE  
OF MOUNTAIN-ORE TERRITORIES  
THE RATIONAL NATURE MANAGEMENT  
MODERN MINERAL FORMATION**

Labours of the 10<sup>th</sup> all-russian symposium  
«Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories» and  
labours of the 17<sup>th</sup> all-russian readings devoted to academician A.E. Fersman  
«The rational nature management», «Modern mineral formation»

12<sup>nd</sup> – 17<sup>th</sup> of August, 2025  
Chita, Russia

**Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories. The rational nature management. Modern mineral formation:** Labours of the 10<sup>th</sup> all-russian symposium and labours of the 17<sup>th</sup> all-russian readings devoted to academician A.E. Fersman 12<sup>nd</sup>-17<sup>th</sup> of august 2025, Chita, Russia. – 248 p.

ISBN 978-5-9566-0532-5

The collection contains materials of the X All-Russian Symposium "Mineralogy and Geochemistry of the Landscape of Mining Territories" and the XVII All-Russian Readings in memory of Academician A.E. Fersman "Rational nature management", "Modern mineral formation", which discuss various aspects of the problems of the geologist of mineral deposits, mineralogy and geochemistry of the landscape of mining areas, weathering crusts, oxidation zones of sulfide deposits. New data on biogeochemical fluxes of toxic elements and their uptake by plants are presented. The general problems of geotechnogenesis, modern mineral formation, geochemical barriers, geoethics, the history of geological and mineralogical research and the role of the Russian Academy of Sciences are considered. Special attention is paid to scientific tourism.

The collection is of interest to specialists in the field of ore formation, geochemical methods of prospecting, hypergenesis processes, landscape geochemistry, scientific tourism, geographers, ecologists, and subsoil users. The materials will be useful for students, undergraduates and graduate students in these areas of knowledge.

Texts of reports are reproduced in author's editing with small technical correcting.

## **ОРГАНИЗАТОРЫ:**

**Сибирское отделение Российской академии наук**  
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
**Российское минералогическое общество**  
Читинское отделение РМО  
Комиссия по современному минералообразованию РМО  
**Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН**  
Институт геохимии СО РАН им. А.П. Виноградова  
Институт географии СО РАН им. В.Б. Сочавы  
Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН  
Забайкальский государственный университет  
Лаборатория минералогии и геохимии ландшафта ИПРЭК СО РАН и ЗабГУ  
**Министерство природных ресурсов Забайкальского края**  
Государственный природный биосферный заповедник «Даурский»  
Забайкальское региональное отделение Российской академии естественных наук  
Забайкальское региональное отделение Русского географического общества  
Забайкальское региональное отделение Российского геологического общества

\* \* \*

## **ORGANIZERS:**

**Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences**  
Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS  
**Russian Mineralogical Society**  
Chita branch of the RMS  
Commission for Modern Mineral Formation of the RMS  
**Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the RAS**  
Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS  
V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS  
Geological Institute SB RAS  
Transbaikal State University  
Laboratory of Mineralogy and Geochemistry of Landscape  
**Ministry of Natural Resources of the Transbaikal Territory**  
Natural Biosphere Reserve "Daursky"  
Trans-Baikal Regional Center of the Russian Academy of Natural Sciences  
Trans-Baikal Regional Branch of the Russian Geographical Society  
Trans-Baikal regional branch of NGO RosGeo

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:**

**Горячев Н.А.** – академик РАН, СВКНИИ ДВО РАН и ИГХ СО РАН, г. Магадан, сопредседатель  
**Петров В.А.** – член-корр. РАН, директор ИГЕМ РАН, г. Москва, сопредседатель  
**Юргенсон Г.А.** – д.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН, председатель Читинского отделения РМО, г. Чита, сопредседатель  
**Гармаев Е.Ж.** – академик РАН, директор БИП СО РАН, г. Улан-Удэ, сопредседатель  
**Гладкочуб Д.П.** – член-корр. РАН, директор ИЗК СО РАН, г. Иркутск  
**Гордиенко И.В.** – член-корр. РАН, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ  
**Перепелов А.Б.** – д.г.-м.н., директор ИГХ СО РАН, г. Иркутск  
**Плюснин В.М.** – д.г.н., Институт географии СО РАН, г. Иркутск  
**Плюснин А.М.** – д.г.-м.н., зав. лабораторией гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ  
**Цыганков А.А.** – д.г.-м.н., ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:**

### **Сопредседатели:**

**Михеев И.Е.** – к.г.н., директор ИПРЭК СО РАН  
**Корсун О.В.** – к.б.н., зам. директора ИПРЭК СО РАН  
**Юргенсон Г.А.** – д.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН, председатель Читинского отделения РМО

### **Секретари:**

**Горячкина А.Г.** – к.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН, секретарь организационного комитета  
**Эпова Е.С.** – к.г.-м.н., м.н.с., ИПРЭК СО РАН, секретарь организационного комитета

### **Члены оргкомитета:**

**Бизяев И.О.** – исполнительный директор Общественной организации «РосГео», г. Чита  
**Борзенко С.В.** – д.г.-м.н., зав. лабораторией геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН, г. Чита  
**Гребенщикова В.И.** – д.г.-м.н., ИГХ СО РАН им. А.П. Виноградова, г. Иркутск  
**Дорошкевич С.Г.** – к.б.н., ученый секретарь ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ  
**Еремин О.В.** – к.г.-м.н., зав. лабораторией геохимии и рудогенеза ИПРЭК СО РАН, г. Чита  
**Замана Л.В.** – к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник ИПРЭК СО РАН, г. Чита  
**Константинов А.В.** – д.и.н., профессор ЗабГУ, председатель ЗРО РГО, г. Чита  
**Макаров Д.В.** – д.т.н., директор Института проблем промышленной экологии Севера, г. Апатиты  
**Никитина Н.К.** – к.г.-м.н., д.э.н., председатель секции геоэтики ОО «РосГео», г. Москва  
**Новиков А.Н.** – д.г.н., профессор ЗабГУ, г. Чита  
**Остапенко Н.С.** – д.г.-м.н., ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск  
**Петрова Ю.А.** – главный специалист Отдела наук о Земле Управления организации научных исследований СО РАН  
**Поленов Ю.А.** – д.г.-м.н., профессор УГГУ, г. Екатеринбург  
**Потапов С.С.** – к.г.-м.н., ИМин ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, г. Миасс  
**Размахнин К.К.** – д.т.н., директор ЧФ ИГД СО РАН, г. Чита  
**Токарева Ю.С.** – к.ф.-м.н., доцент ЗабГУ, г. Чита  
**Трубачев А.И.** – д.г.-м.н., профессор, зам. председателя Читинского отделения РМО, г. Чита  
**Чарыкова М.В.** – д.г.-м.н., профессор СПбГУ, г. Санкт-Петербург  
**Черепицын А.А.** – директор ФГБУ «Государственный заповедник «Даурский»  
**Чечель Л.П.** – к.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН, г. Чита  
**Чудаева Т.В.** – начальник Отдела наук о Земле Управления организации научных исследований СО РАН  
**Шумилова Л.В.** – д.т.н., профессор ЗабГУ, Забайкальское отделение РАЕН, г. Чита

### **РЕДАКТОРСКАЯ ГРУППА:**

Г.А. Юргенсон (отв. редактор), Е.С. Эпова, Е.В. Миронова

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	9
<b>1. ГЕОЛОГИЯ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b>	
<b>Абрамов Б.Н.</b> Особенности формирования рудоносных гранитов кукульбейского (J <sub>3</sub> ) комплекса (Восточное Забайкалье) .....	11
<b>Аюржанаева Д.Ц., Рошкетаяев П.А.</b> Минерагеническое районирование кварцевого и кремнеземного сырья Саяно-Байкальской складчатой области .....	16
<b>Васильев В.И., Васильева Е.В.</b> Геохимические барьеры в рудообразующей магматогенно-гидротермальной системе .....	21
<b>Гонгальский Б.И.</b> Медистые песчаники и меденосные габброиды юго-запада Алданского щита .....	26
<b>Горячев Н.А., Чан Туан Ань, Соцкая О.Т., Васильева Т.И., Фам Нгок Кан, Ву Хоанг Ли, Чан Чонг Хоа, Нго Тхи Фыонг.</b> О находке реликта палеогидротермальной системы в габброидах массива Йенчу (Центральный Вьетнам) .....	31
<b>Корекина М.А., Анкушева Н.Н., Савичев А.Н., Игуменцев К.В.</b> Условия образования кварцево-жильных объектов Урала .....	35
<b>Криволицкая Н.А., Гонгальский Б.И., Краснова Е.А., Бычков А.Ю., Габлина И.Ф., Баранов А.А., Свирская Н. М., Конышев А.А., Грязнова А.С.</b> Закономерности образования сульфидных PGE-Cu-Ni месторождений на севере Восточной Сибири .....	38
<b>Миронова Е.В., Юргенсон Г.А.</b> Первые данные о взаимосвязи ТЭДС и интенсивности дымчатости в кристалле кварца с Шерловой Горы .....	42
<b>Миронова Е.В., Юргенсон Г.А.</b> Новые данные по ИК-спектроскопии МНПВО жильного кварца некоторых месторождений .....	45
<b>Ниёзов А.С.</b> О полигенности золотого рудогенеза Гиссаро-Алая (Южный Тянь-Шань) .....	49
<b>Федоров А.М., Непомнящих А.И., Юргенсон Г.А., Жабоедов А.П., Зимин М.Д., Куликова З.И., Макрыгина В.А., Чачанагова О.И.</b> Геохимия и минералогия месторождения Гора Кварцевая .....	53
<b>Чупрова А.А., Рампилов М.О.</b> Особенности вещественного состава руд Албазинского золоторудного месторождения (Дальний Восток) .....	56
<b>Юргенсон Г.А., Хромова Е.А.</b> О сульфидах в сподумене Завитинского месторождения .....	60
<b>Трубачев А.И., Намжилов Б.Б., Литвинцева О.В., Юг А.Ю., Дружинина Ю.В.</b> О некоторых закономерностях распределения полезных компонентов в месторождении Серебряное (Восточное Забайкалье) .....	66
<b>Юргенсон Г.А., Груздев Р.В.</b> Рений в рудах Гутайского месторождения (Западное Забайкалье) .....	70
<b>Юргенсон Г.А., Трубачев А.И.</b> К геохимии существенно пиритовых конкреций в Читино-Ингодинской депрессии .....	74
<b>2. ГЕММОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАГЕНИЯ И КАМНЕСАМОЦВЕТНОЕ СЫРЬЕ</b>	
<b>Николаев А.Г., Бахтин А.И., Юргенсон Г.А.</b> Кристаллохимические особенности и природа окраски бериллов Шерловой горы .....	79
<b>Кислов Е.В.</b> Геммология черного и серого аподоломитового нефрита Кавоктинского месторождения .....	82
<b>Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Г</b> Особенности алмазов из кимберлитовых тел северо-востока Сибирской платформы и проблемы образования россыпей .....	87

Юргенсон Г.А. Кварц-диамант..... 92

### 3. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАНДШАФТАХ.

**Вах Е.А., Ветошкина А.В., Ревенко М.А., Гусарова В.В.** Гидрогеохимия зоны окисления сульфидных руд: распределение РЗЭ и тяжелых металлов на месторождении Шануч (Камчатский край)..... 96

**Дорошкевич С.Г., Чередова Т.В., Шешукова А.А., Филенко Р.А.** Особенности микростроения и состава почв геотехногенных ландшафтов Джидинского вольфрамового месторождения (Западное Забайкалье)..... 101

**Павлов И.А., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д.** Геохимическая аномалия фтора в почвах активной зоны флюидной разгрузки ..... 106

**Симакова Ю. С., Митюшева Т. П.** Влияние засоления на глинистые минералы почв на территории Серёговского соляного месторождения Республики Коми ..... 111

**Убугунов В.Л., Лебедева М.П., Дорофеюк Н.И., Воробьева Г.А., Убугунова В.И., Чудаев Д.А.** Сульфатно-кислые солончаки бугров пучения: макро-, микроморфологические и минералогические особенности (Центральная часть Байкальской рифтовой зоны) ..... 116

**Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Дорофеюк Н.И., Насатуева Ц.Н., Ласточкин Е.И., Цыренова Д.Д.** Минералогический состав почв поднятий Кучегэрского гидротермального поля (Байкальская рифтовая зона, Баргузинская котловина)..... 121

**Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Ласточкин Е.И., Хромова Е.А., Павлов И.А.** Трансформация минералогического состава почв в каналах эндогенной разгрузки (Кучегэрское термальное поле) ..... 125

**Цыренов Т.Г., Филенко Р.А.** Оценка влияния минерального материала хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников на химический состав почв окрестностей ..... 130

### 4. СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

**Асочакова Е.М., Вологодина И.В., Дутова Е.М.** Минеральные ассоциации антропогенного минералообразования в пределах развития железорудной осадочной формации Западной Сибири..... 134

**Аюшина Т.А., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д., Убугунов Л.Л., Ласточкин Е.И.** Особенности минералогии солончаков Нижнеоронгойской котловины (Селенгинское среднегорье) ..... 137

**Еремин О.В., Юргенсон Г.А.** Физико-химическое моделирование поведения рения в условиях гипергенеза..... 142

**Еремин О.В., Юргенсон Г.А., Филенко Р.А.** Использование гидрокарбоната аммония в исследовании продуктов современного минералообразования ..... 144

**Замана Л.В., Усманова Л.И., Солотчин П.А.** Минералообразование Могойского термального источника Байкальской рифтовой зоны – термодинамические предпосылки и реальные минеральные ассоциации ..... 149

**Иккерт О.И., Бухарова О.В., Князев Ю.В., Баюков О.А., Платунов М.С., Волочаев М.Н., Молокеев М.С., Смородина Е.Д., Карначук О.В.** Состав минеральной ассоциации, образованной в процессе жизненной активности вида *Desulfosporosinus metallidurans* ..... 154

**Куваев В.А., Кузьмин Г.П.** Аккумуляция криогенной энергии атмосферного воздуха для охлаждения подземных сооружений в криолитозоне ..... 159

**Убугунова В.И., Ласточкин Е.И., Аюшина Т.А., Убугунов В.Л., Жамбалова А.Д.** Минералогический и химический состав почвообразующих песчаников

коллизиионной зоны Удинского-Витимского шва (Нижнеоронгойская котловина).....	162
<b>Чудинова О.Н., Дубенко К.А.</b> Изучение состава нерастворимого осадка снежного покрова на Никольском каменноугольном месторождении .....	167
<b>Юргенсон Г.А., Шумилова Л.В.</b> О геотехнологиях извлечения стратегически важных химических элементов из отходов обогащения руд редкометалльных и золоторудных месторождений Забайкалья.....	171
<b>Юргенсон Г.А.</b> Горнопромышленные геосистемы Забайкалья: проблемы и состояние их изученности .....	181

#### **5. БИОГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ЗОНЫ ГЕОТЕХНОГЕНЕЗА**

<b>Барановская Н.В., Михайлова Л.А., Вершкова Е.М., Казакова А.А.</b> Биогеохимические индикаторы антропогенного воздействия в горнопромышленных районах Забайкалья .....	187
<b>Русанов И.И., Лукина А.П., Данилова Э.В., Карначук О.В.</b> Микробные процессы в отходах вольфрамового месторождения Бом-Горхон: влияние температуры.....	191
<b>Макаров В.П.</b> Флора хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик Восточного Забайкалья.....	193
<b>Радомская В.И., Ляпунов М.Ю.</b> Химический состав почв геотехногенных ландшафтов золоторудного месторождения Пионер (Приамурье) .....	198
<b>Вишнякова О.В., Убугунов Л.Л.</b> Геохимические особенности степных почв Торейской котловины (Юго-Восточное Забайкалье) .....	203
<b>Михайлова Л.А., Барановская Н.В.</b> Исследование химического состава волос у детей, проживающих в горнопромышленных районах Забайкальского края .....	206

#### **6. НАУЧНЫЙ ТУРИЗМ**

<b>Василенко Е.А.</b> Проблемы и перспективы поисков ископаемых остатков на местонахождении динозавров «Кулинда».....	209
<b>Груздев Р.В., Рыльский И.А.</b> Аэрофотосъемка и новые сведения о природном памятнике «Мульдаийский метеоритный кратер» (Восточное Забайкалье).....	214
<b>Константинов А.В.</b> Район Ивано-Арахлейских озёр в Забайкальском крае: 300 лет научных исследований .....	221
<b>Людвиг У.И., Козлова А.А.</b> Особенности почвообразования на разновозрастных породах Южного Приангарья по результатам научной экскурсии .....	225
<b>Салихов В.С., Трубачев А.И.</b> Титовская сопка – геологический и туристический бренд Забайкалья.....	231
<b>Кузьминых Е.Н., Щербакова Д.А.</b> Из недр земли в культурное и образовательное наследие: экспозиция природного камня в музейном центре города Сегежи .....	235
<b>Юргенсон Г. А.</b> Подземный штаб Забайкальского фронта на Шерловой Горе .....	242
<b>Авторский указатель</b> .....	247

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Очередной X Всероссийский симпозиум «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XVI Всероссийские чтения памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование» и «Современное минералообразование» являются традиционным научным мероприятием, проводимым Институтом природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Лабораторией минералогии и геохимии ландшафта Забайкальского государственного университета, Читинским отделением Российского минералогического общества и Комиссией по современному минералообразованию Российского минералогического общества. Симпозиум посвящен обсуждению различных аспектов проблем состояния изученности, условий формирования, закономерностей размещения и минералогии месторождений грейзеновой формации и самоцветов, в том числе, алмазов, а также месторождений золота, цветных металлов, кварцевого и других видов минерального сырья как на Сибирской платформе, так и в пределах Монголо-Охотского орогенного пояса, минералогии и геохимии природных и антропогенных ландшафтов в полях развития рудных месторождений и геосистем, формирующихся в процессе и результате их разработки. В ландшафтах геосистем горнорудных районов рассматриваются биогеохимические потоки в природно-техногенной цепи: горные породы (руды) → коры выветривания (зоны окисления) → почвы (техноземы) → растительная биота. В растительных сообществах отдельно рассматривается поведение химических элементов в подземных и наземных органах. Особенностью планируемого симпозиума является рассмотрение вопросов зависимости состава органов человека от геохимии ландшафта обитания.

В рамках очередных Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана рассматриваются вопросы современного гипергенного минералообразования в геотехногенных ландшафтах, проблемы природных и техногенных геохимических барьеров. Рассматриваются вопросы физико-химического моделирования, в том числе на основе экспериментов. Впервые в программу мероприятия включены проблемы памятников природы, а также научного туризма как важнейшего метода научного просвещения.

Поскольку базовой научной геологической отраслью, определяющей саму необходимость и вероятность освоения месторождений полезных ископаемых, является геология и минералогия рудных месторождений, одним из важных основополагающих направлений работы симпозиума стали вопросы закономерностей размещения и условий образования рудных месторождений, а также их минералого-геохимических особенностей, определяющих вероятность концентрирования в ландшафте экологически важных химических элементов. Проведение симпозиума и Чтений неоднократно были поддержаны РФФИ и его тематика относится к приоритетным направлениям науки, определенным Правительством РФ.

Ниже перечислены основные научные направления работы Симпозиума и Чтений.

1. Геология, закономерности размещения и процессы образования рудных месторождений.
2. Геммологическая минералогия и камнесамоцветное сырье
3. Минералого-геохимические процессы в ландшафтах.
4. Современное минералообразование. Геохимические барьеры. Рациональное природопользование
5. Биогеохимия природных ландшафтов и зоны геотехногенеза.
6. Научный туризм.

В результате обсуждения широкого круга проблем могут быть выработаны новые подходы к пониманию формирования и функционирования природных и природно-антропогенных геосистем, являющиеся основой для выводов о взаимодействии социума и геологической среды, и выработаны управленческие решения для рационального природопользования.

Материалы, присланные авторами, публикуются в авторской редакции с минимальными редакторскими правками технического характера.

*Ответственный редактор д.г.-м.н., профессор Г.А. Юргенсон*

# 1. Геология, закономерности размещения и процессы образования рудных месторождений

УДК 550.42 (571.55)

## Особенности формирования рудоносных гранитов кукульбейского (J<sub>3</sub>) комплекса (Восточное Забайкалье)

*Абрамов Б.Н.*

Федеральное государственное учреждение науки институт природных ресурсов, экологии и криологии  
Сибирского отделения РАН, 672002, г. Чита, Россия  
b\_abramov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ петрогеохимических составов рудоносных гранитов кукульбейского комплекса (J<sub>3</sub>). Уставлено соответствие рудоносных гранитов кукульбейского комплекса, продуцирующих вольфрамовые и редкометальные месторождения, посторогенным внутриплитным гранитам с характерными мантийно-коровыми характеристиками. По петрогеохимическим особенностям рудоносные граниты кукульбейского комплекса отвечают гранитам S и A типов. На геодинамических диаграммах рассматриваемые рудоносные граниты соответствуют внутриплитным гранитам.

**Ключевые слова:** кукульбейский комплекс, особенности формирования, Забайкалье

## Features of the formation of ore-bearing granites of the Kukulbeya (J<sub>3</sub>) complex (Eastern Transbaikalia)

*Abramov B.N.*

Federal State Institution of Science Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of  
the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 672002, Chita, Russia  
b\_abramov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8905-1677>

**Annotation.** A comparative analysis of the petrogeochemical compositions of the ore-bearing granites of the Kukulbeya complex (J<sub>3</sub>) has been carried out. The correspondence of the ore-bearing granites of the Kukulbeya complex, producing tungsten and rare metal deposits, to post-rhogenic intraplate granites with characteristic mantle-crustal characteristics has been determined. According to petrogeochemical features, the ore-bearing granites of the Kukulbeya complex correspond to S and A types of granites. On geodynamic diagrams, the ore-bearing granites under consideration correspond to intraplate granites.

**Keywords:** Kukulbeya complex, features of formation, Transbaikalia

В Восточном Забайкалье с формированием кукульбейского интрузивным комплексом (J<sub>3</sub>) связано образование многочисленных вольфрамовых и редкометальных месторождений (Ta, Li). Условия образования этих месторождений отражены в ряде публикаций.

В Восточном Забайкалье кукульбейский интрузивный комплекс (J<sub>3</sub>) развит южнее Монголо-Охотского глубинного разлома, в пределах Агинской и Аргунской структурно-формационных зон (рис. 1).

Рудоносные массивы кукульбейского комплекса цепочкой протягиваются на сотни километров в северо-восточном направлении (рис. 1). Одновременное их образование в едином временном интервале предполагает единый глубинный источник энергии. Вероятнее всего плавление коровых пород вызвал мантийный расплав, внедрившийся в основание земной коры. Под рудоносными гранитами, по определению В.Д. Козлова, подразумеваются малая часть гранитных интрузий, обогащённая гранитофильными редкими элементами с содержаниями существенно выше кларкового уровня.

Интрузии рассматриваемого комплекса тяготеют к области распространения мощных терригенных толщ юры и к зонам крупных межблоковых разломов северо-восточного и северо-западного простирания. Форма выходов интрузий часто близка к изометричной, крупные апофизы от них трассируют эти ослабленные зоны. Рудоносные массивы кукульбейского комплекса цепочкой протягиваются на сотни километров в северо-восточном направлении (рис. 1). Одновременное их образование в едином временном интервале предполагает единый глубинный источник энергии. Ранее предположили, что вероятнее всего плавление коровых пород вызвал мантийный расплав, внедрившийся в основание земной коры.

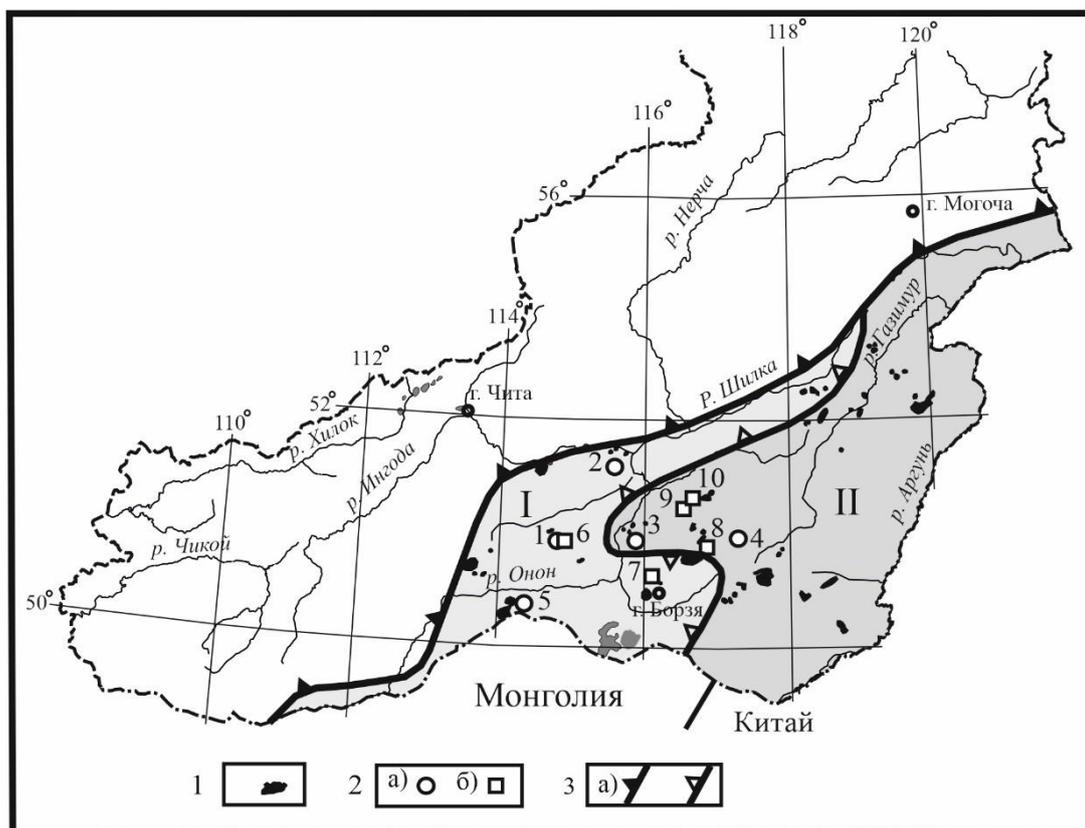


Рисунок 1. Схема размещения размещения вольфрамовых и редкометальных месторождений восточного Забайкалья. I – Агинская структурно-формационная зона, II – Аргунская структурно-формационная зона. 1 – выходы интрузий кукульбейского комплекса ( $J_3$ ); 2 – месторождения. а) редких металлов: 1 – Орловское, 2 – Завитинское, 3 – Кулиндинское, 4 – Этыкинское, 5 – Чалотское; б) вольфрама: 6 – Спокойнинское, 7 – Шерловогорское, 8 – Антоновогорское, 9 – Букукинское, 10 – Белухинское; 3 – Монголо-Охотская сутура: а – основная ветвь, б – Ононская ветвь

В составе кукульбейского комплекса выделяются три фазы внедрения (Зарайский и др. 2009). Первая фаза представлена безрудными биотитовыми гранитами. Вторая фаза образует мелкие тела лейкократовых мусковитовых гранитов в пределах массивов первой фазы. Со второй лейкогранитовой фазой связаны олововольфрамовые месторождения (Спокойнинское и др.). Заключительные куполообразные штоки амазонитовых Li-F гранитов 3-й фазы вмещают в своей верхней части танталовые месторождения – Орловское, Этыкинское (Козлов, 2009).

С массивами кукульбейского комплекса пространственно и генетически связаны месторождения и рудопроявления грейзеново-жильного вольфрам-оловянного профиля в лейкогранитах и Ta-Nb-Li профиля в альбит-амазонитовых литий-фтористых гранитах. При этом оруденение локализуется как в лейкогранитах и пегматитах заключительных интрузивных фаз, так и во вмещающих породах.

В Восточном Забайкалье известны четыре массива с амазонитовыми гранитами: Орловский, Этыкинский, Ачиканский и Тургинский, к двум из которых – Орловскому и Этыкинскому – приурочены промышленные месторождения тантала и лития. Массивы редкометальных гранитов представляют собой малые интрузивные тела, часто штоко- и дайкообразной формы, характеризуются размером до первых км и пространственно приурочены к крупным гранитным плутонам. Жильные породы кукульбейского комплекса представлены пегматитами, аплитами. Для танталовых месторождений очень характерно присутствие в куполах Li-F гранитов своеобразных силло- и дайкообразных тел ритмично-полосчатых гранитных пород, сложенных чередующимися аплитовидными слоями и слоями грубозернистого кварц-амазонитового пегматоида. В публикациях последних десятилетий изотопный возраст гранитов кукульбейского комплекса попадает в диапазон

$J_3$ - $K_1$  (табл. 1). Обращает на себя внимание близкий временной интервал формирования рудоносных гранитов вольфрамовых и редкометальных месторождений (табл. 1).

Таблица 1. Изотопный возраст гранитов кукульбейского комплекса и связанных с ними оруденения

Массив, интрузия	Возраст (млн лет), метод	Литературный источник
Редкометальные месторождения		
Орловский	143 ± 2, Rb-Sr	Коваленко и др., 1999; Костицын и др., 2004; Абушкевич, Сырицо, 2007
Этыкинский	142 ± 1, Rb-Sr.	Костицын и др., 2004
Завитинское	140 ± 3,0 U-Pb	Загорский 2015
Вольфрамовые месторождения		
Шерлогорское	141,4 ± 1,8 Rb-Sr.	Сырицо и др., 2018
Антоновогорское	146,7 ± 1,7 (мусковит из кварц - мусковитовых грейзенов с вольфрамитом)	Редина и др. 2019
Спокойнинское	146,9 ± 0,7 Rb-Sr.	Абушкевич, Сырицо., 2007
Букуинское	138 ± 1,9 Rb-Sr.	Редин и др. 2024

Существующие в настоящее время систематики гранитоидов, использующие их геохимические характеристики, основаны на зависимости состава гранитов и от характера источника. В соответствии с ними выделяются гранитоиды коровые, корово-мантийные и мантийные. На геодинамической диаграмме  $(Na_2O+K_2O)-Fe_2O_3 \times 5 - (CaO+Mg)$  рудоносные граниты кукульбейского комплекса размещаются в поле кислых магматических проявлений гранитов типов  $A_1$  и  $A_2$  (Гребенников, 2014) (рис. 2).

Граниты типа  $A_1$  являются производными бимодальных магматических серий, образованные в условиях глобального континентального и океанического рифтогенеза. В поле  $A_2$  попадают кислые магматические ассоциации, связанные с локальными режимами растяжения, проявленными в геодинамических условиях внутри- и окраинно-континентального типов (рис.3а). На диаграмме  $(Na_2O+K_2)/Al_2O_3$  граниты кукульбейского комплекса соответствуют, в основном, гранитам S -типа (рис. 3б) (Великославинский, 2003), на диаграмме Rb-Y+Nb – внутриплитным гранитам (Зв) (Pearce, 1996). На известной диаграмме  $(K_2O+Na_2O)/CaO - Zr+Nb+Ce+Y$  дифференцированным гранитам I, S и M типов, часть значений соответствую гранитам А-типа (рис. 3г).

При процессе дифференциации магматических очагов рудоносных гранитов кукульбейского комплекса происходит увеличение содержаний Rb, Li, Cs, Be, Sn, W, Mo, Ta, Nb, Вi и уменьшение концентраций Sr, Ba, V, Co, Ni, Cr, Zr, REE, Y (Козлов, 1985). От ранних интрузивных фаз кукульбейского комплекса к поздним указанные выше процессы усиливаются, что приводит к образованию редкометальных месторождений (Козлов, 2009).

Дифференциация магматических очагов гранитов кукульбейского комплекса в системе: биотитовые граниты → лейкократовые граниты → Li-F граниты сопровождается уменьшением величины индикаторных Zr/Hf, Nb/Ta, Eu/Eu\* отношений с увеличением концентраций редких элементов. В обратной последовательности изменяются Rb/Sr отношения (Зарайский и др., 2008). Данная закономерность подтверждается наши расчетами. Так, в гранитах W месторождений Nb/Ta отношения колеблются в интервале 1,7–11,7, в гранитах редкометальных месторождений – 0,5-2,20. В обратной последовательности изменяются Rb/Sr отношения. В гранитах редкометальных месторождений среднее значение Rb/Sr отношения составляет 139,3, в гранитах вольфрамовых месторождений – 13,77 (табл. 3).

По сумме щелочей  $(Na_2O+K_2O)$  рудоносные граниты кукульбейского комплекса соответствуют известково-щелочной серии (табл. 3).

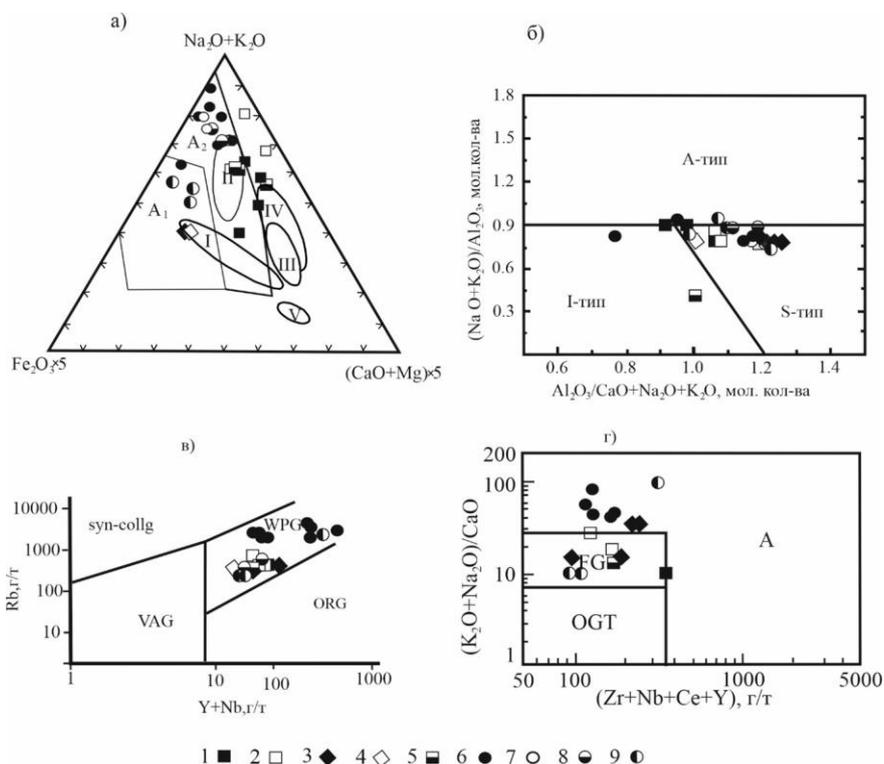


Рисунок 2. Диаграммы геодинамических обстановок формирования гранитов кукульбейского комплекса.

а) Диаграмма  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}) - \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 5 - (\text{CaO}+\text{Mg})$  (мол.кол.) гранитов рудных полей мезозойских месторождений Восточного Забайкалья (по Гребенникову, 2014). Поля на диаграмме:  $A_1$  – поле кремнекислых пород внутриплитных геодинамических обстановок океанических островов и континентальных рифтов,  $A_2$  – кислые магматические проявления в геодинамических обстановках внутри- и окраинно-континентальных типов. Поля кислых магматических пород главных геодинамических обстановок: I – обстановки проявления мантийных плюмов в условиях океанических плит, II – обстановки внутриконтинентальных рифтов, III – зоны островодужного магматизма, заложенные на океанической коре, IV – зоны магматизма активных континентальных окраин, V – обстановки задугового спрединга. Рис. 3б) Диаграмма  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$  (мол.кол.). Поля на диаграмме: Граниты I, S, A типов. (Великославинский, 2003) 3в) Диаграмма  $\text{Rb} - (\text{Y}+\text{Nb})$ . Поля на диаграмме: WPG — внутриплитные граниты; VAG — граниты вулканических дуг; syn-COLG — синколлизийные граниты (Pearce, 1996). 3 г) Диаграмма  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})/\text{CaO} - (\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y})$ , г/т. Поля на диаграмме: A -граниты A-типа. FG, нефракционированные граниты, OGT – фракционированные граниты I, S типов (Whalen, 1997; Eby, 1990). Пространственно и генетически связанные с граниты кукульбейского комплекса месторождения: 1 – Шерловогорское (W), 2 – Антоновогорское (W), 3 – Спокойнинское (W), 4 – Белухинское (W), 5 – Букукинское (W), 6 – Орловское (Li, Nb, Ta), 7 – Этыкинское (Li, Nb, Ta), 8- Кулиндинское (Li, Nb, Ta), 9 – Завитинское (Li, Nb, Ta).

Анализ геохимических особенностей и геодинамических диаграмм свидетельствуют о соответствии рудоносных гранитов кукульбейского комплекса гранитам S и отчасти A типов, образование которых произошло в посторогенной обстановке при внедрении позднеюрский -раннемеловой период в литосферу мантийных образований. В совокупности петрогеохимические характеристики S и A типов рудоносных гранитов кукульбейского комплекса отвечают внутриплитным гранитам.

### Библиографический список

1. Гребенников А.В. (2014) Гранитоиды А-типа: проблема диагностики, формирования и систематики // Геология и геофизика 2014, Т. 55, № 9, С.1355-1373.
2. Козлов В.Д. Редкоземельные элементы как индикаторы источников рудного вещества, степени дифференциации и рудоносности интрузий редкометальных гранитов (Восточное Забайкалье) // Геология и геофизика 2009, Т.50, №1, С. 38-53.
3. Великославинский С.Д. Геохимическая типизация кислых магматических пород ведущих геодинамических обстановок // Петрология. 2003. Т. 11, № 4. С. 363–380.
4. Зарайский Г.П., Аксюк А.М., Чевычелов В.Ю., Коржинская, В.С., Котова, Н.П., Бородулин, Г.П., Ударагина, О.В. (2008). Физико-химическая модель генезиса месторождений тантала, связанных с литий-фтористыми гранитами. Материалы научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения ак. Ф.И. Чухрова. Москва: ИГЕМ РАН, 74-77.
5. Pearce J.A. (1996) A user's guide to basalt discrimination diagrams // Trace element geochemistry of volcanic

rocks: applications for massive sulphide exploration. Geological association of Canada, Short Course Notes, v. 12, p. 79—113.

**Минерагеническое районирование кварцевого и кремнеземного сырья  
Саяно-Байкальской складчатой области**

*Аюржанаева Д.Ц.<sup>1,2</sup>, Рошектаев П.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [dulmazhap@mail.ru](mailto:dulmazhap@mail.ru)

<sup>2</sup> Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова, Улан-Удэ, Россия

**Аннотация.** На основе данных поисково-оценочных отчетов, карт минерагенического районирования Республики Бурятия СФО (с использованием материалов Легенды Алдано-Забайкальской серии листов Госгеолкарты м 1:1000000, 2005 г.) проведено ранжирование объектов минерагенического районирования для кварцевого и кремнеземного сырья в пределах Саяно-Байкальской складчатой области. Впервые выделена Саяно-Байкальская кварценозная провинция, Байкало-Патомская минерагеническая субпровинция, Селенгино-Витимская минерагеническая субпровинция, Баргузино-Витимская минерагеническая субпровинция, Восточно-Саянская минерагеническая кварценозная субпровинция.

**Ключевые слова:** минерагеническое районирование, кварценозная провинция, кварцевое и кремнеземное сырье.

**Mineragenic zoning of quartz and silica raw materials  
The Sayano-Baikal folded region**

*Ayurzhanaeva D.Ts.<sup>1,2</sup>, Roshektaev P.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia, [dulmazhap@mail.ru](mailto:dulmazhap@mail.ru)

<sup>2</sup> Banzarov Buryat State University, ul. Smolina 24a, Ulan-Ude, 67000, Russia

**Abstract.** Based on the data of prospecting and evaluation reports, maps of mineragenic zoning of the Republic of Buryatia of the Siberian Federal District (using materials of the Legend of the Aldan-Transbaikal series of sheets of the State Geological Map of 1:1000000, 2005), the ranking of objects of mineragenic zoning for quartz and silica raw materials within the Sayan-Baikal folded region was carried out. For the first time, the Sayan-Baikal quartz-bearing province, Baikal-Patom mineragenic subprovince, Selenga-Vitim mineragenic subprovince, Barguzin-Vitim mineragenic subprovince, East Sayan mineragenic quartz-bearing subprovince were distinguished.

**Keywords:** mineragenic zoning, quartz-bearing province, quartz and silica raw materials.

Кремний в чистом виде в природе не встречается, его получают из кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ) источником которого является кремнеземное и кварцевое сырье различных генетических типов. В первую группу входят кварциты, кварцевые песчаники и пески, во вторую – разнообразные кварцево-жильные образования, силекситы, породообразующий кварц из некоторых типов пегматитов, а также монокристаллы кварца, включая горный хрусталь [4].

На территории Саяно-Байкальской складчатой области известны обе группы кварцевых пород различных геолого-генетических типов. Часть из них (Черемшанское, Бурал-Сардыкское, Чулбонское, Гуджекитское, Атарханское, и др.) представляют объекты пригодные для получения высокочистых кварцевых концентратов для различных отраслей промышленности (стекольной, электронной и полупроводниковой, авиакосмической и оборонной, металлургической и в фармацевтике).

Производство высокочистого кремния является основой существования и развития отечественной микроэлектроники, оптики, а также альтернативной солнечной энергетики. Стимулирование данных сфер в течение долгого времени определялось в качестве приоритетных задач развития российской экономики как залог стратегической независимости страны как в экономическом, так и в политическом контексте.

В связи с этим значительно вырос интерес к промышленному освоению уже существующих месторождений. Стала актуальной задача создания единого минерагенического районирования известных кварценозных зон и районов. Возникла необходимость в планировании проведения геологического изучения недр и разведки новых объектов разного ранга на основе установленных факторов их локализации. Существующие

в литературе таксономические единицы значительно расходятся с уровня рудных узлов до провинций [1,9].

Предлагаемое ранжирование объектов основано на данных поисково-оценочных отчетов, картах минерагенического районирования Республики Бурятия СФО (с использованием материалов Легенды Алдано-Забайкальской серии листов Госгеолкарты м 1:1000000, 2005 г.). Некоторые из них выделены впервые для кварцевого и кремнеземного сырья.

Объектами-таксонами, собственно, минерагенического районирования являются минерагенические пояса (провинция, подпровинция), минерагенические зоны (области), рудные районы, рудные узлы (рудноносные зоны), месторождения и проявления полезных ископаемых.

**Ранжирование объектов минерагенического районирования для  
кварцевого и кремнеземного сырья в пределах  
Саяно-Байкальской складчатой области**

1. Саяно-Байкальская минерагеническая кварценозная провинция
  - 1.1. Байкало-Патомская минерагеническая субпровинция,
    - 1.1.1. Олоkitская минерагеническая зона (область),
      - 1.1.1.1. Северо-Западный рудный район,
        - 1.1.1.1.1. Даванский рудный узел (зона)
        - 1.1.1.1.2. Тыйско-Неручангдинский рудный узел (зона)
        - 1.1.1.1.3. Абчадский рудный узел (зона)
      - 1.1.2. Бодайбинская минерагеническая зона (область)
        - 1.1.2.1. Патомский рудный район
          - 1.1.2.1.1. Анахчи-Чипикеткий рудный узел (зона)
          - 1.1.2.1.2. Мара-Таймендринский рудный узел (зона)
          - 1.1.2.1.3. Якшинский рудный узел (зона)
    - 1.2. Баргузино-Витимская минерагеническая субпровинция,
      - 1.2.1. Анамакит-Светлинская минерагеническая зона (область)
        - 1.2.1.1. Намаминский рудный район
          - 1.2.1.1.1. Баргузино-янчуйский рудный узел (зона)
          - 1.2.1.1.2. Асиктинский рудный узел (зона)
    - 1.3. Селенгино-Витимская минерагеническая субпровинция,
      - 1.3.1. Уланбургасская минерагеническая зона
        - 1.3.1.1. Прибайкальский рудный район
          - 1.3.1.1.1. Черемшано-Ошурковский рудный узел (зона)
          - 1.3.1.1.2. Курбинский рудный узел (зона)
    - 1.4. Восточно-Саянская минерагеническая субпровинция
      - 1.4.1. Окинская минерагеническая область
        - 1.4.1.1. Окинский рудный район
          - 1.4.1.1.1. Гарганский рудный узел (зона)

**Саяно-Байкальская минерагеническая кварценосная провинция**  
**Байкало-Патомская минерагеническая субпровинция**  
**Олокитская минерагеническая область (зона)**  
**Северобайкальский рудный район**

**1. Даванская кварценосная зона** приурочена к одноименным структурно-тектоническим зонам смятия, проявленных на контакте докембрийских и палеозойских пород, состоит из двух тектонических блоков, сложенных породами Чуйской толщи (PR<sub>1</sub>) – биотитовыми, амфиболовыми гнейсами, мигматитами, кристаллическими сланцами, амфиболитами, известняками, кварцитами [1,2].

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** Гоуджекитское месторождение оптического кварца, Промежуточное, Гоуджекит-Грамна, Надежное проявления оптического кварца и другие проявления.

**2. Тыйско-Неручангдинская кварценосная зона** локализуется в измененных кристаллических сланцах, кварцитах, амфиболитах авкитской и тыйской свит Олокитской серии (PR<sub>3</sub>) [5].

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** Неручангдинское проявление оптического кварца, Тыйское проявление оптического кварца и др.

**3. Абчадская кварценосная зона** приурочена к зоне влияния одноименного глубинного разлома, проявленного на контакте гнейсов и сланцев Олокитской серии (PR<sub>3</sub>) абчадской свиты (кристаллические известняки, доломиты, прослой кварц-серицитовых сланцев, филлитов, метавулканитов среднего и кислого состава). Основное количество кварцевых проявлений размещено вдоль Абчадского глубинного разлома и в субпараллельных ему разломах [1,3].

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** Окталакитское месторождение оптического кварца, Бассейн р. Налимда проявление оптического кварца.

**Саяно-Байкальская минерагеническая кварценосная провинция**  
**Байкало-Патомская минерагеническая субпровинция**  
**Бодайбинская минерагеническая область (зона)**  
**Патомский рудный район**

**1. Анахчи-Чипикетская кварценосная зона** локализуется в тектоническом блоке, сложенном породами бугарихтинской свиты и хайвергинской свит, рассланцованными, с образованием будинированных прослоев известняков и дистенсодержащих сланцев (PR<sub>3</sub>). В пределах поля выделена серия жил гранулированного кварца, которые локализируются в метаморфических породах, преобразованных в условиях дистеновой фации [1].

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** Мало-Чипикетское месторождение

**2. Мара-Таймендринская кварценосная зона** приурочены к породам бугарихтинской свиты (PR<sub>3</sub>). – массивным, крупнозернистым гравелитам, песчаникам с редкими прослоями углистых сланцев. На них надвинуты тектонические чешуи, сложенные биотит-гранатовыми, биотитовыми, хлорит-биотитовыми сланцами с прослоями деформированных известняков и дистенсодержащих гнейсов [1].

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** Мара-Таймендринское проявление оптического кварца и др.

**3. Якшинская кварценосная зона по р.р. Чая, Чуя**

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** проявления хрусталеносного кварцевого сырья по р.р. Тахтыга, Тахтыган и др.

**Саяно-Байкальская минерагеническая кварценосная провинция**  
**Байкало-Витимская минерагеническая субпровинция**  
**Анамакит-Светлинская минерагеническая область (зона)**

## **Намаминский рудный район**

**Баргузино-Янчуйская кварценозная зона.** Кварцевые тела локализуются в пологих и межпластовых трещинах в чашеобразном прогибе антиклинальной складки и группируются в кварцево-жильные узлы (Северный и Южный), расположенных в прирамковой части антиклинали. В узлах группируются от 5 до 30 жил, линз, тел неправильной формы, которые заполняют межбужинное пространство дислоцированных, разлинзованных углистых известняков, доломитов, сланцево-карбонатной толщи баргузинской свиты (PR<sub>3</sub>) [1,6].

**Месторождения кварцевого сырья:** Чулбонское месторождение оптического кварца.

**Асиктинская кварценозная зона.** Многочисленные кварцевые жилы развиваются в глубокометаморфизованных образованиях нюрундуканской свиты (PR<sub>1</sub>) - амфиболовые, хлорит-амфиболовые, биотитовые сланцы, гнейсы, мигматиты, метапесаники, прослой кристаллических известняков, амфиболитов, кварцитов, диабазов и порфиринов) [].

**Месторождения и проявления кварцевого сырья:** проявления хрусталоносного кварцевого сырья на р. Асикта.

## **Саяно-Байкальская минерагеническая кварценозная провинция**

### **Селенгино-Витимская минерагеническая субпровинция**

#### **Уланбургасская минерагеническая область (зона)**

#### **Прибайкальский рудный район**

##### **Черемшано-Ошурковский рудный узел (зона)**

**Месторождение кремнеземного сырья:** Черемшанское месторождение кварцитов.

Черемшанское месторождение кремнеземного сырья представляет собой пластообразное тело разнотипных кварцевых песчаников, кварцитовидных песчаников и кварцитов, прослеженного с юга на север на расстоянии 10 км среди осадочно-метаморфической толщи, состоящей из итанцинской, преимущественно силикатной, и бурлинской, существенно карбонатной свит селенгинской серии (PR<sub>3</sub>). Рудное тело приурочено к сочленению этих свит и, повторяя их наслоения, разбит на блоки разрывными нарушениями с малой амплитудой смещения [10].

##### **Курбинский рудный узел (зона)**

**Месторождения кварцевого сырья:** Атарханское месторождение оптического кварца.

Атарханское месторождение расположено среди осадочно-метаморфической толщи итанцинской свиты, сложенной углисто-серицитовыми, биотитовыми, хлорит-эпидотовыми сланцами, амфиболитами, кварцевыми и кварцитовидными песчаниками, кварцитами, диопсид-скаполитовыми сланцами и гнейсами, доломитами, известняками (PR<sub>3</sub>) [6].

## **Саяно-Байкальская минерагеническая кварценозная провинция**

### **Восточно-Саянская минерагеническая субпровинция**

#### **Окинская минерагеническая зона**

#### **Окинский рудный район**

##### **Гарганская кварценозная зона (рудный узел)**

**Месторождения и проявления кремнеземного и кварцевого сырья:** Бурал-Сардыкское месторождение кварцитов, Урда-Гарганское, Окинский-1, Окинский-2, Харагольское, Холбинское, Снежный, Верхнеонотское, Дунда-Гарганское, Шагайтэ-Гольское, Хойто-Улзытинское, Дабанжалгинское, Харанурское, Кварцитовое месторождения кварцитов, Урунгенурское, Монгошинское проявления кварцитов.

В качестве продуктивной толщи гарганской кварценозной зоны выступает осадочно-метаморфогенная терригенно-карбонатно-кремнистая толща иркутной (монгошинской) свиты (PR<sub>3</sub>), нормально-трансгрессивно залегающая непосредственно на гранито-гнейсах кристаллического фундамента Гарганской глыбы [8].

## Заключение

На фоне тектоно-минерагенического районирования отчетливо выделяются площади, которые отличаются высокой концентрацией месторождений и проявлений кремнеземного и кварцевого сырья, тяготеющих к древним осадочно-метаморфическим толщам протерозойского возраста. Рассматривая территориальные группировки кварцевого и кремнеземного сырья по отношению к тектоническим подразделениям Саяно-Байкальской горной области, наблюдается рудоконтролирующая роль шовных (сдвиговых) зон на границе Сибирской платформы с Байкальской складчатой областью [1].

Учитывая широкое распространение в Западном Забайкалье древних архейско-протерозойских осадочно-метаморфических комплексов, обладающих значительным геологическим потенциалом, представляется целесообразным инициировать систематические поисково-оценочные мероприятия, направленные на выявление и изучение новых и существующих месторождений кварцевого и кремнеземного сырья. Это позволит обеспечить сырьевую базу для широкого спектра высокотехнологичных отраслей промышленности, включая стекольную, электронную и полупроводниковую, авиакосмическую, оборонную, металлургическую, а также фармацевтическую. Поэтому результаты поисковых работ на кварцевое и кремнеземное сырье должны быть интегрированы в общую стратегию развития минерально-сырьевой базы региона, с учетом долгосрочных потребностей промышленности и возможностей экспортной ориентации.

## Библиографический список

1. Быдтаева Н.Г., Киселева Р.А., Кириллов А.А. Шовные зоны как основные рудоконтролирующие структуры месторождений безрудного кварца // Современные проблемы изучения и использования минерально-сырьевой базы кварцевого сырья: Матер. Всероссийского совещания. – Миасс-Екатеринбург, 2011. – С.33-48.
2. Брензей А.А., Дмитриевский В.В. И Лысенко Г.З. Отчет о поисковых и поисково-оценочных работах на Гоуджекитском месторождении гранулированного кварца за 1978 г.
3. Брензей А.А., Мутовин А.В., Пермиков Л.В. Отчет о результатах поисковых работ на гранулированный кварц в зоне Абчадского глубинного разлома в Северо-Западном Прибайкалье за 1979-81 гг.
4. Крылова Г.И. Оценка минерагенического потенциала кварцитов, пригодных для высокотехнологичных производств // Минеральное сырье Урала. – 2010. - №4. – С. 3-32.
5. Результаты поисковых работ в Тыйско-Неручангдинской кварценозной зоне и поисково-оценочных работ на Тыйском и Неручангдинском проявлениях гранулированного кварца. Отчет Тыйского участка за 1982-84 гг. Сост. А.А. Брензей, В.В. Тюрюханов, Н.А. Иголкина.
6. Результаты поисковых и поисково-оценочных работ в Баргузино-Янчуйской кварценозной зоне и на Чулбонском мес- и жильного кварца в Северном Прибайкалье. Отчет Прибайкальской партии №2 за 1981-84 гг.
7. Результаты поисково-оценочных работ на Атарханском месторождении кварца для оптического стекловарения. Сост. Рукавец В.Ф. ТитПК УУ. 1996
8. Скопинцев В.Г. Геологическое строение и полезные ископаемые верховьев рек Гарган, Урик, Китой, Онот и результаты поисково-оценочных работ на участке Китойский. Отчет Самартинской ГСП за 1998-94 гг.
9. Федоров А.М., Макрыгина В.А., Мазукабзов А.М., Непомнящих А.И., Аюржанаева Д.Ц., Волкова М.Г. Ресурсы кварцевого сырья Гарганской зоны Восточносаянского кварцитоносного района // Георесурсы. – 2021. – Т.23, №4. - <https://doi.org/10.18599/grs.2021.4.112>.
10. Царев Д.И., Хрусталева В.К., Гальченко В.И., Аюржанаева Д.Ц. Новые генетические данные о генезисе Черемшанского месторождения кремнеземного сырья (Западное Забайкалье) // Геол. рудн. м-ний. 2007. Т. 49. № 4. С. 334–345.

## Геохимические барьеры в рудообразующей магматогенно-гидротермальной системе

*Васильев В.И., Васильева Е.В.*

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, geovladi@yandex.ru

**Аннотация.** Предлагается новый системный подход к возникновению и эволюции обобщённой рудообразующей магматогенно-гидротермальной системы, включающий весь комплекс процессов, начиная со сверхглубинных и до верхнекоровых. Геохимические барьеры в таких системах представлены в расширенном значении: как некоторые зоны, в которых резко меняется способ, скорость и формы переноса геохимических компонентов. Такими барьерами служат, во-первых, реологические границы (в том числе пластично-хрупкий переход и прочностные барьеры), во-вторых, физико-химические границы (в том числе интервалы высокого температурного градиента, зоны смены фазового состава флюида и минерального состава вмещающей среды) и, наконец, зоны смешения флюидов различного генезиса с последующими химическими преобразованиями.

**Ключевые слова:** магматогенно-гидротермальные системы, геохимические барьеры, системный подход

## Geochemical Barriers in the Ore-Forming Magmatogenous-Hydrothermal System

*Vasiliev V.I., Vasilieva E.V.*

Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, geovladi@yandex.ru

**Abstract.** A new systems approach to the emergence and evolution of a generalized ore-forming magmatogenous-hydrothermal system is proposed, including the entire complex of processes, starting from superdeep to upper crustal levels. Geochemical barriers in such systems are presented in an expanded sense: as some zones in which the method, speed and forms of transfer of geochemical components change sharply. Such barriers systems are, firstly, rheological boundaries (including the plastic-brittle transition and strength barriers), secondly, physicochemical boundaries (including intervals of high temperature gradient and zones of change in the phase composition of the fluid and the mineral composition of the host environment) and, finally, zones of mixing of fluids of different genesis with subsequent chemical transformations.

**Keywords:** magmatogenous-hydrothermal systems, geochemical barriers, systems approach

Традиционно считается, что гидротермальная система представляет собой закономерно организованную область земной коры в зоне влияния некоторого источника тепла. В пределах системы благоприятное сочетание геологических тел, зон проницаемости и гидрогеологических структур приводит к переносу тепловой энергии с некоторых глубин к дневной поверхности посредством конвекции флюида. Под флюидом нами понимается группа подвижных фаз «водный раствор + газовая фаза»; при отсутствии одной из фаз флюид считается существующим. В предельном случае флюид может находиться в надкритическом состоянии, для которого характерна неограниченная смесимость не только между раствором и газом, но и с магматическим расплавом в случае его присутствия.

В обобщённую схему гидротермальной системы традиционно включаются: горячие или остывающие магматические тела (источники тепла), толща вышележащих трещиновато-пористых пород, конвективные ячеи движущегося в них флюида с восходящей ветвью над источником тепла и нисходящей – на периферии с адвективными потоками между ними (под адвекцией здесь мы понимаем горизонтальную фильтрацию через среду с изменяющимися свойствами). В состав гидротермальной системы входят также различные структурные неоднородности: водоносные горизонты, водоупоры, тектонические нарушения и различные виды геохимических барьеров (ГХБ). В последние полвека на основе анализа материалов сверхглубокого бурения, детального изучения структуры и выделения этапов длительно живущих вулканогенно-рудных центров, а также глубокого бурения на андезитовых вулканах островных дуг удалось доказать наличие зоны перехода между близповерхностной гидротермальной и глубинной магматической конвективными ячейками в структуре высокотемпературных гидротермальных систем [6].

Эта переходная зона реологически расположена между областью хрупких деформаций верхней блоковой земной коры и пластичной нижней корой, что определяет её как зону пластично-хрупкого перехода (ПХП). Выше ПХП флюид находится в открытой на поверхность системе сообщающихся между собой пор и трещин под собственным

гидростатическим и напорным давлением; ниже ПХП флюид находится в закрытых полостях под литостатическим давлением окружающих пород.

Согласно теории систем мантийно-коровых мигрантов [4, 2, 1], так называемый «магматический очаг» чаще всего представляет собой флюидо-магматическую камеру (ФМК) под некоторым прочностным барьером в земной коре, подпитываемую последовательно поднимающимися с глубины мантийно-коровыми мигрантами (МКМ) – закрытыми субвертикальными полостями, движущимися вверх в пластичной среде в поле силы тяжести за счёт флюидо- или магморазрыва вмещающей среды [2]. Последний происходит вследствие превышения избыточным давлением в МКМ прочности вмещающей среды. Избыточное давление, в свою очередь, возникает из-за разности плотностей среды и вещества МКМ [4].

Исходные МКМ, содержащие в основном водород и метан, зарождаются на границе «ядро – нижняя мантия» в результате дегазации жидкого внешнего ядра. При субадиабатическом подъёме систем МКМ в мантии флюид окисляется до воды и углекислого газа и «сдвигает» солидус мантии в сторону низких температур; следовательно, при пересечении адиабатой «мокрого» солидуса мантии последняя будет плавиться. Ассимилируя расплав или магму, МКМ из чисто флюидного становится флюидо-магматическим. В состав вещества МКМ будут включаться химически и механически захваченные компоненты мантии и литосферы, в том числе некогерентные рудные элементы и тугоплавкие рудные компоненты, транспортируемые им в земную кору. Образование исходного МКМ может происходить и в другой обстановке, например, под мантийным клином при дегидратации субдущей плиты; состав флюида при этом будет соответствовать химизму океанической коры и осадков.

ФМК под прочностным барьером разрастается за счёт притока МКМ до достижения её мощностью некоей критической высоты  $L_C$ , после чего в барьере происходит разрыв, и флюид формирует новый, «дочерний» МКМ. Условие образования МКМ записывается следующим образом [1]:

$$\int_0^{H+L_C} g\rho_{\text{вс}} h dh - \int_0^H g\rho_{\text{вс}} h dh - \int_H^{H+L_C} g\rho_{\text{фл}} h dh \geq S, \quad (1)$$

где  $H$  – глубина «головы» МКМ,  $L_C$  – критический размер вертикальной проекции МКМ,  $\rho_{\text{вс}}$  – плотность вмещающей среды мантии,  $\rho_{\text{фл}}$  – плотность вещества МКМ,  $S$  – прочность среды на разрыв в «голове» МКМ,  $h$  – переменная интегрирования по глубине,  $g$  – ускорение свободного падения. Разрастание ФМК происходит преимущественно по латерали и гораздо медленнее – по мощности. За счёт этого возникающая над ней гидротермальная деятельность носит долгоживущий характер, а в самой ФМК происходят процессы дифференциации вещества, осложнённые внутренней конвекцией, контаминацией и ассимиляцией вмещающих пород. Для гидротермальных систем, впервые возникающих при таком образовании флюидо-магматического очага нами предложено название «магматогенно-гидротермальные системы» (МГС), которое в надлежащем порядке располагает главные факторы их существования [3].

Таким образом, в МГС на макроуровне существуют два вида движения флюида. В области хрупкого состояния вмещающей среды и гидростатического давления флюида формируется конвективная ячейка, движущей силой которой является разность напоров ПГФ на разном удалении от тепловой оси МГС. В области же пластичного состояния и литостатического давления флюида мы рассматриваем только однонаправленный дискретный поток – подъём МКМ, движущей силой которого является избыточное давление флюида, которое представлено в левой части выражения (1). Здесь необходимо отметить, что после образования и «ухода» вверх очередного МКМ вмещающая пластичная среда смыкается, и вызванное им нарушение быстро залечивается. Это явление определяет выполаживание литрических трещиноватых зон и, следовательно, нижнюю границу проникновения экзогенного флюида. След подъёма МКМ остаётся только на химическом уровне изменения пород после многократного прохода отдельных МКМ, образующих их систему.

Идеализированная схема такой МГС показана на рис. 1 и подробно описана в подрисуночной подписи.

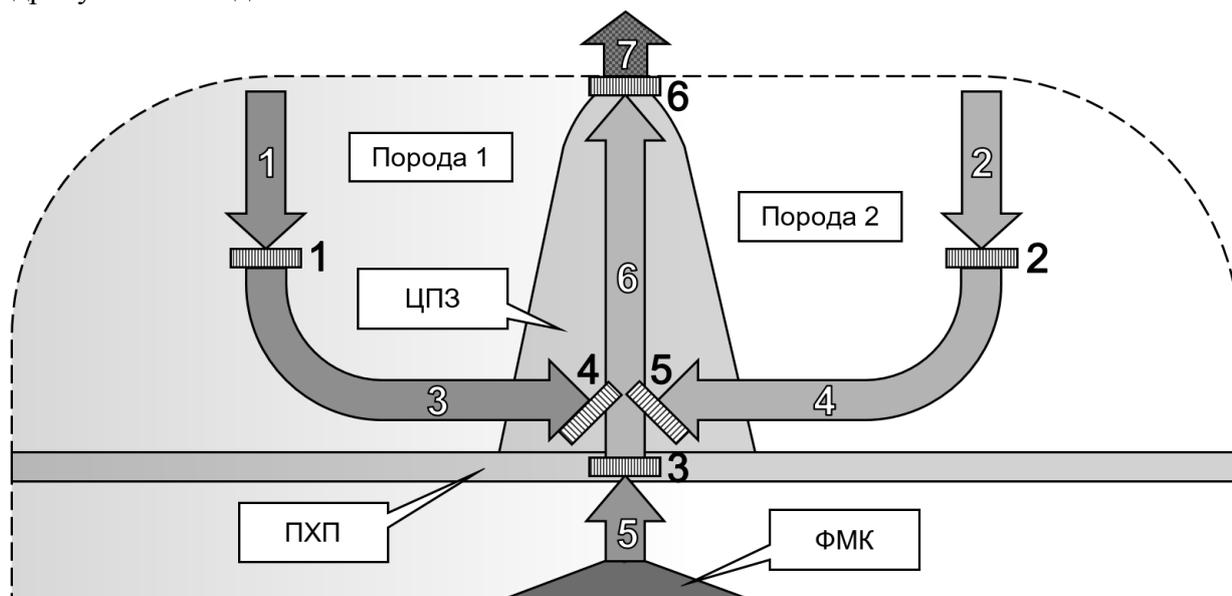


Рисунок 1. Идеализированная схема МГС (граница показана штриховой линией). ЦПЗ – центральная проводящая зона, в которой в зависимости от Р-Т условий могут образовываться временные или долгоживущие паровые резервуары; Порода 1, Порода 2 – вмещающие среды по разные стороны от ЦПЗ, которые могут иметь как одинаковые, так и различные химические и петрофизические свойства (чаще различные, поскольку ЦПЗ обычно тяготеет к контактовым тектоническим и/или магматическим зонам). Стрелками показаны потоки флюида в конвективных ячейх МГС и взаимодействующие с ними иные виды транспорта флюида. Они пронумерованы светлыми цифрами: 1, 2 – нисходящие ветви конвективных ячеек в зоне хрупких деформаций, представленные потоками гипергенных флюидов в средах Порода 1 и Порода 2 соответственно; 3, 4 – адвективные потоки флюидов над пластично-хрупким переходом, захватывающие нижние субгоризонтальные участки листрических разломов хрупкой коры в Породе 1 и Породе 2 соответственно; 5 – транспорт флюида системой МКМ от ФМК до ПХП; 6 – общая восходящая ветвь конвективных ячеек МГМ в ЦПЗ; 7 – поверхностная разгрузка флюида над ЦПЗ в виде горячих источников, гейзеров, фумарол и т.п. Заштрихованными прямоугольниками на пути движения флюида показаны и пронумерованы тёмными цифрами основные ГХБ в МГС: 1, 2 – ГХБ смены поверхностных физико-химических условий на трещинно-поровую обстановку в Породе 1 и Породе 2 соответственно; 3 – главный ГХБ, отделяющий магматическую и гидротермальную подсистемы МГС, расположенный на ПХП, одновременно являющийся и прочностным барьером; 4, 5 – ГХБ, возникающие при смешении глубинного и адвективного потоков флюидов; 6 – поверхностный ГХБ.

Термин «геохимические барьеры» был введён А.И. Перельманом для участков земной коры, где на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов, и как следствие, их накопление. В более широком плане ГХБ – это участок, где одна геохимическая обстановка резко сменяется другой, т.е. граница между геохимическими обстановками. Понятие «граница» достаточно условно, так как во многих случаях она носит размытый характер, и правильнее говорить о пограничной зоне, где резко возрастают градиенты концентраций элементов. При этом происходит уменьшение миграционной способности отдельных элементов и их избирательное накопление, вплоть до образования рудных тел. Мы предлагаем ещё более расширить понятие ГХБ и распространить его вообще на все зоны, в которых резко меняется способ, скорость и формы переноса независимых химических компонентов изучаемой системы. Это справедливо, если рассматривать геологическую среду как систему, состоящую не только из минералов (твёрдых фаз), но и флюида и/или магмы, в которых также в конкретный момент времени могут накапливаться те или иные химические компоненты.

Рассмотрим конкретные ГХБ в МГС с этой точки зрения в последовательности, указанной на рис. 1. Для этого опишем некоторые закономерности, полученные нами при физико-химическом моделировании более двадцати различных гидротермальных месторождений и рудопроявлений Восточного Саяна.

Сразу оговоримся, что в данной работе мы не останавливаемся на процессах конвекции и кристаллизационно-гравитационной дифференциации в ФМК, которые тоже являются рудоконцентрирующими, но не относятся к гидротермальным. Они рассмотрены нами недавно в другой работе [1].

В качестве примера примем за Породу 1 – вулканогенно-осадочные отложения базитового состава, за Породу 2 – терригенно-карбонатную толщу; скорости фильтрации флюида примем одинаковыми для обеих пород. Глубинный флюид (поток 5 на рис. 1) выделяется при ретроградном кипении расплава среднего (близкого к андезитовому) состава в ФМК. За рудные компоненты примем золото, серебро, медь, свинец и цинк.

ГХБ 1 и 2 располагаются вдоль нисходящих ветвей конвективных ячей и характеризуются положительным градиентом массы флюида и содержания в нём газовой фазы, увеличением рН в Породе 1 и уменьшением – в Породе 2. Для водного раствора флюида в Породе 1 будет наблюдаться возрастание химических потенциалов золота и полиметаллов и снижение химического потенциала серебра. В водном растворе флюида в Породе 2 химические потенциалы всех обсуждаемых компонентов будут возрастать.

ГХБ 3 располагается на ПХП и является, пожалуй, самым важным барьером в изучаемой МГС, так как является одновременно декомпрессионным и химическим. В каждом отдельном МКМ в момент достижения им конкретной открытой на поверхность системы трещин происходит мгновенная декомпрессия с падением давления от литостатического до гидростатического. Она является основным фактором рудоотложения непосредственно из МКМ и формирует оруденение штокверкового или подобного ему типа в границах некоторой вертикально вытянутой формы, наследующей сочленение «МКМ – система трещин». Очевидно, что различная глубина распространения открытых (в том числе листрических) разломов определяет ПХП не как линейную границу, а как некоторый слой мощностью до нескольких километров. Следовательно, возможны пространственно близкие рудные тела одного генезиса, но с различным составом зависимых фаз согласно физико-химическим условиям на конкретной глубине и в конкретных породах. Такая модель вероятна для штокверкового и прожилково-жильного золотосульфидного, а также, возможно, золото-медно-порфирирового и подобных типов оруденения [1]. Кроме резкого падения химических потенциалов рудных компонентов в водном растворе флюида этот барьер отличается резкой сменой форм переноса многих химических элементов – как рудных, так и петрогенных. Характер такой смены зависит от конкретных условий, но, замечено, например, что практически всегда золото и свинец из преобладающих хлоридных форм переходят в гидросульфидные.

Заметим, что ПХП является также прочностным барьером, который во многих случаях и задерживает подъём систем МКМ с формированием ФМК и, следовательно, является одним из главных факторов возникновения МГС как таковой [6, 4, 1].

ГХБ 4 и 5 являются физико-химическими барьерами смешения глубинного и адвективного потоков, сопровождающегося подъёмом температуры для адвективных потоков 3 и 4, и её падением для потока 6 в ЦПЗ. Смешение потоков 3 и 6 характеризуется падением рН; химический потенциал золота в водном растворе флюида уменьшается, а меди, свинца и цинка – увеличивается; закономерности для серебра не замечено. При смешении потоков 4 и 6 рН практически не меняется, газовая фаза флюида полностью обезвоживается; химические потенциалы всех рудных компонентов в водном растворе флюида уменьшаются.

ГХБ 6 является поверхностным, и поведение на нём рудных компонентов практически полностью зависит от температуры и фазового состава выходящего флюида, а она, в свою очередь, от размеров МГС. Здесь несколько строк посвятим паровым резервуарам в ЦПЗ.

В настоящей работе мы не рассматриваем ГХБ на границах паровых резервуаров, которые формируются, например, вблизи поверхности при вскипании перегретых гидротерм вследствие снижения гидростатического давления, связанного с понижением пьезометрического уровня термальных вод. Обширное исследование паровых резервуаров в гидротермальных системах было проведено под руководством Н.С. Жатнуева [5, 6]. Было

показано, что глубина и размеры парового резервуара, а также время и режим его существования полностью зависят от температуры ФМК, её объёма, глубины локализации и, главным образом, от проницаемости вмещающих пород. В зависимости от газового и солевого состава гидротермального флюида кривая кипения может занимать различное положение на P-T диаграмме, и высокие концентрации солей способствуют её удлинению в область более высоких давлений, т.е. погружению на значительные глубины [5]. Поэтому в нашей идеализированную схему МГС паровые резервуары не включены, но именно от них зависят свойства ГХБ 6.

Также отметим, что в данной работе мы не конкретизировали гидрогеологические условия МГС (водоносные горизонты, водоупоры и т.д.), поскольку в каждом конкретном случае они будут формировать свою структуру, накладывающуюся на нашу общую схему, что, само собой разумеется, нужно учитывать при построении модели конкретной рудообразующей МГС.

*Работа выполнена в рамках проекта АААА-А21-121011390003-9 «Рудообразующие системы разновозрастных складчатых поясов южного обрамления Сибирского кратона: геолого-генетические модели месторождений благородных, редких и цветных металлов».*

#### **Библиографический список**

1. Васильев В.И., Васильева Е.В., Бадмажапов Б.Б. Модели реологических барьеров литосферы и первичное оруденение // Геофизика. 2025. №2. С. 73–77.
2. Васильев В.И., Васильева Е.В., Жатнуев Н.С., Санжиев Г.Д. Параметры образования и эволюции мантийно-корового мигранта // Геоинформатика. 2019. №2. С. 34–42.
3. Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Рычагов С.Н., Васильева Е.В., Санжиев Г.Д. Массоперенос и минералообразование в магматогенно-гидротермальных системах по результатам численного физико-химического моделирования // Литосфера. 2010. №3. С. 145–152.
4. Жатнуев Н.С., Васильев В.И., Санжиев Г.Д. Восходящая миграция флюидов в мантии. Концептуальная, расчётная и аналоговая модели // Отечественная геология. 2013. №3. С. 24–30.
5. Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Рычагов С.Н., Гунин В.И. Гидротермальные системы с паровыми резервуарами // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1996. 180 с.
6. Жатнуев Н.С., Рычагов С.Н., Васильев В.И., Васильева Е.В. Влияние реологических свойств земной коры на локализацию рудообразующих гидротермально-магматических систем // Вулканология и сейсмология. 2012. №3. С. 59–72.

## Медистые песчаники и меденосные габброиды юго-запада Алданского щита

Гонгальский Б.И.

<sup>1</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер.,35; brgon@mail.ru,

**Аннотация.** Совмещение в пространстве Удоканского месторождения медистых песчаников (26,7 млн. т Cu) и меденосных габброидов Чинейского массива (15 млн. т. Cu.) позволяют решать фундаментальные вопросы генезиса указанных и многих других месторождений.  $Pb^{206}/U^{238}$  отношения показывают присутствие значений позднего архея среди пород палеопротерозоя. Последовательность фракционирования прослеживается по разноранговой ритмичности пород. Установлены вариации изотопов серы в рудах ассоциирующих с осадочными и магматическими породами – с отрицательными значениями для руд Удоканского месторождения и положительными для габброидов.

**Ключевые слова:** Чинейский, Удокан, медь, титаномагнетит, изотопы серы.

## Copper-sandstones and of copper-bearing gabbroids southwest of the Aldan Shield

Gongalsky B.I.

<sup>2</sup>Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia, brgon@mail.ru

**Abstract.** The coincidence in space of the Udokan deposit of copper-sandstones (26.7 million tons Cu) and of copper-bearing gabbroids of the China massif (15 million tons Cu) allows us to solve fundamental questions of the genesis of these and many other deposits.  $Pb^{206}/U^{238}$  ratios show the presence of Late Archean values among the Paleoproterozoic rocks. The sequence of fractionation is traced by different rank rhythmicity of rocks. Variations of sulfur isotopes in ores associated with sedimentary and igneous rocks have been established, with negative values for ores of the Udokan deposit and positive values for gabbroids.

**Key words:** Chinese, Udokan, copper, titanomagnetite, sulfur isotopes.

Южная окраина Сибирского кратона, представлена блоками архейских пород разделенными субмеридиональными позднеархейскими зеленокаменными поясами, перекрытыми нижнепротерозойскими карбонатно-терригенными отложениями Кодаро-Удоканского прогиба. Магматические породы палеопротерозоя представлены крупными массивами гранитоидов кодарского комплекса (Кодарский, Кеменский и др.) и ультрамафит-мафитовыми массивами чинейского комплекса (Чинейский, Луктурский, Майлавский и др.). Суперкрупные концентрации черных металлов (V) Чинейского массива (Гонгальский 2015, Gongalsky, Krivolutskaya, 2019) сравнимы по условиям формирования и ресурсам с гигантским Бушвельдом (ЮАР), а цветных металлов (Cu) с Садбери (Канада). Массивы и дайки мафитовых и ультрамафит-мафитовых пород проявлены также в позднем протерозое (доросский комплекс), мезозое (отложения мезозойских впадин и дайки) и неоген-четвертичное время (Удоканское лавовое плато). Большинство исследователей рассматривали формирование Чинейского массива в рамках одноактного импульса магматизма, вследствие чего и предлагаемые ими схемы строения существенно различались (Архангельская и др., 2004). В.К. Голев обосновывал трехчленное строение разреза массива, Э.Г. Конников (выделял 6 зон в его строении с очень большими вариациями их мощностей (Конников, 1986). Нами (Гонгальский, 2015, Gongalsky, Krivolutskaya, 2019) в строении массива выделяется четыре группы пород (от ранних – к поздним): 1) пироксениты, габбро, анортозиты, сохранившихся краевых зон и в виде ксенолитов среди более поздних образований; 2) высокотитанистые габброиды, объединенные снизу вверх в титаномагнетит-габбровую и лейкогаббровую серии; 3) низкотитанистые габброиды (норитовая серия) в приподошвенной части массива, апофизы, силлы и дайки в высокотитанистых габброидах 2-й группы; 4) магматические брекчии с лампрофировым и габброноритовым цементом, дайки и апофизы титаномагнетитовых габброноритов и низкотитанистых норитов. Высокие содержания титаномагнетита фиксируются в нижних частях микроритмов (сантиметры -



Учитывая существенно низкие температуры кристаллизации сульфидов (пирит, халькопирит, пирротин, пентландит и др.), их кристаллизация происходила в интерстициях между главными породообразующими минералами в «захороненных» обособленных обогащенных летучими компонентами. Последние создавали неравновесную систему и преобразовывали ранее выделившиеся минералы: замещался магнетит оставляя матрицу ильменита, ортопироксен и клинопироксен частично замещались амфиболом, кристаллизовались слюды, калиевый полевой шпат, альбит и сульфиды. Чаще всего такие обособления приурочены к верхним частям микроритмов, их лейкогаббровым частям. Здесь концентрируются и акцессорные минералы, апатит, флюорит и др.

Мономинеральные слои титаномагнетита составляют нижние части микроритмов (пироксен-титаномагнетититы) или присутствуют в верхних частях микро- и макроритмов (плагиоклаз-титаномагнетититы). Начало кристаллизации плагиоклаза привело к образованию меланоритов, далее габбро и лейкогаббро, вплоть до анортозитов. Завершение кристаллизации минералов из остаточного расплава сопровождалось возрастанием концентраций кварца, биотита, амфиболов, сульфидов в виде единичных вкраплений, гнезд и линз. Сульфиды появляются в верхних частях микроритмов или в прожилках уже закристаллизованных пород (штокверки). Сульфидные рудные тела месторождений Чинейского массива приурочены к эндо- и экзоконтакту массива. Высокие концентрации титаномагнетита отличают почти мономинеральные титаномагнетититы, с увеличением концентраций пироксенов до титаномагнетит-норитов (мела- мезо- и лейконориты (лейкогаббро). Другой тренд показывает вариации габброидов от титаномагнетитита до анортозита (мела-, мезо- и лейкочинитов). Породы титаномагнетит-плагиоклазового состава названы нами (Гонгальский, 2015) чинитами, они широко представлены в Верхней зоне Бушвельда (ЮАР), но названы магнетитовыми анортозитами (лейкогаббро).

Низкотитанистые габброиды (3 группа) залегают в нижней части в виде лополита мощностью около 300 м в западной части массива, увеличивающиеся на востоке до 700 м. Они также образуют апофизы, силлы и дайки в ранее закристаллизованных высокотитанистых габброноритах, свидетельствующие о чередовании инъекций высоко- и низкотитанистых магм. Тектонические зеркала скольжения вдоль контактов апофизы норитов с высокотитанистыми габброноритами указывают на элементы протрузии норитов. Заключительный этап формирования массива представлен флюидно-магматическими брекчиями, с которыми ассоциируют сульфидные руды. Высокотитанистые габброиды образуют два разобщенных блока, Fe-Ti-V месторождения Этырко и Магнитное.

Микроритмичное строение низкотитанистых габброидов также свидетельствует о длительности процессов кристаллизации, концентрация сульфидов части магнезиальных микроритмов, видимо, были менее плотными, и не задерживали остаточные расплавы с летучими. Силлы норитов в высокотитанистых габброидами титаномагнетит-габбровой и лейкогаббровой серий и здесь образовался штокверк из разно ориентированных прожилков с сульфидами. В восточной части, напротив, была оформлена апикальная зона, где сульфиды образовали высокие концентрации вкрапленных руд.

Чрезвычайно широкий диапазон вариаций изотопного состава серы сульфидных руд характерен для Удоканского месторождения. Столь широкий диапазон данных обусловлен длительностью процессов рудоотложения, от магматического фракционирования через отложение из гидротермальных растворов до отложения в поверхностных водотоках.

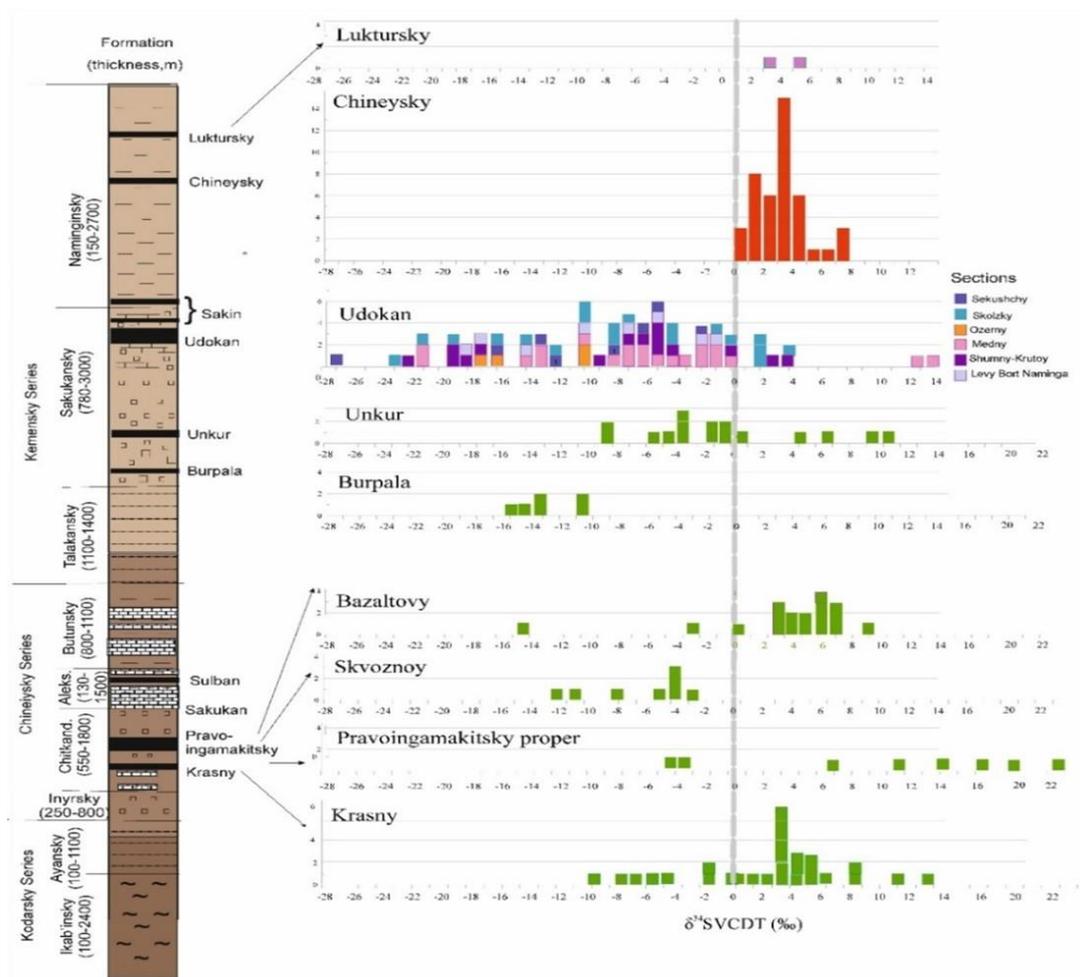


Рисунок 2. Изотопы серы сульфидов месторождений и рудопроявлений, залегающих в осадочных и магматических породах Кодаро-Удоканского района (Gongalsky, Krivolutskaya, 2019)

Большой интервал мафитового магматизма с выделением четырех групп пород, неоднократные поступления расплавов в магматическую камеру (расслоенный массив) приводили к накоплению летучих, редких элементов в остаточных расплавах, флюидных включениях. В результате фракционирования и смешения расплавов к завершению кристаллизации основного объема массива происходило концентрирование рудных, редких и летучих компонентов, часть из которых покидала камеру кристаллизации и перемещалась во вмещающие породы, кристаллизуясь при благоприятных условиях: структурных, литологических и других условиях. В ближайшем обрамлении Чинейского и Майлавского массивов произошло формирование Удоканского, Сакинского, Ключвенного месторождений к северу и Правоингамакитского к юго-западу района (Gongalsky, Krivolutskaya, 2019).

Самая легкая сера на Удоканском месторождении медистых песчаников (рис. 2), присутствует в пирит-халькопиритовых слоях нижнего горизонта не испытавших смешения с флюидами магматической системы. Халькопирит-пиритовые руды Удоканского месторождения сильно обогащены легким изотопом серы: наиболее легкий состав ( $\delta^{34}\text{S} = -27,2 \text{ ‰}$ , рис. 2) характерен для пиритов Намингинского участка, в то время как для вкрапленных халькопирит-пиритовых руд участка Медный установлены значения  $-10 - 12 \text{ ‰}$ . Изотопы серы месторождений Чинейского и Луктурского массивов имеют близкие к мантийным значения. В альбитизированных медистых и магнетитовых песчаниках в пределах Икабья-Читкандинского района распространена урановая минерализация, где в начале 50-х годов было изучено Читкандинское месторождение и многочисленные проявления урана и редких земель.

*Исследования проводились в рамках Государственного задания ИГЕМ РАН.*

### **Библиографический список**

1. Архангельская В.В., Быков Ю.В., Володин Р.Н. и др. Удоканское медное и Катугинское редкометальное месторождения Читинской области России. Чита. 2004.
2. Гонгальский Б.И., Криволицкая Н.А. Чинейский расслоенный плутон. Новосибирск, Наука. 1993.
3. Гонгальский Б.И. Месторождения уникальной металлогенической провинции Северного Забайкалья. М.: ВИМС. 2015. 248 с.
4. Конников Э.Г. Дифференцированные гипербазит-базитовые комплексы докембрия Забайкалья. Новосибирск: Наука. 1986. 224 с.
5. Gongalsky B., Krivolutskaya N. World-Class Mineral Deposits of Northeastern Transbaikalia, Siberia, Russia. Springer. 2019. 321 p.

УДК 553.2; 811.612.91.

## **О находке реликта палеогидротермальной системы в габброидах массива Йенчу (Центральный Вьетнам)**

<sup>1</sup>Горячев Н.А., <sup>2</sup>Чан Туан Ань, <sup>1</sup>Соцкая О.Т., <sup>3</sup>Васильева Т.И., <sup>2</sup>Фам Нгок Кан, <sup>2</sup>Ву Хоанг Ли, <sup>2</sup>Чан Чонг Хоа, <sup>2</sup>Нго Тхи Фьонг.

<sup>1</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН, г.Магадан, Россия [goryachev@neisri.ru](mailto:goryachev@neisri.ru)

<sup>2</sup>Институт наук о Земле ВАНТ, г.Ханой, Вьетнам [pncan@ies.vast.vn](mailto:pncan@ies.vast.vn)

<sup>3</sup>Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г.Якутск, Россия [vasilevatig@yandex.ru](mailto:vasilevatig@yandex.ru)

**Аннотация.** Приведены результаты исследования минеральных фаз реликта палеогидротермальной системы сформировавшей медную минерализацию связанную с позднепермскими-раннетриасовыми габброидами орогенного пояса Чуонг Шон.

**Ключевые слова:** палеогидротермальная система, медной оруденение, минералы палладия, габброиды, орогенный пояс Чуонг Шон.

## **On the discovery of a relic of a paleohydrothermal system in the gabbroids of the Yen Chu massif (Central Vietnam)**

<sup>1</sup>Goryachev N.A., <sup>2</sup>Tran Tuan Anh, <sup>1</sup>Sotskaya O.T., <sup>3</sup>Vasilieva T.I., <sup>2</sup>Pham Ngoc Can, <sup>2</sup>Vu Hoang Ly, <sup>2</sup>Tran Trong Hoa, <sup>2</sup>Ngô Thi Phuong.

<sup>1</sup>North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N.A.Shilo FEB RAS, Magadan, Russia [goryachev@neisri.ru](mailto:goryachev@neisri.ru)

<sup>2</sup>Institute of Earth Sciences VANT, Hanoi, Vietnam [pncan@ies.vast.vn](mailto:pncan@ies.vast.vn)

<sup>3</sup>Diamond and Noble metals Institute SB RAS, Yakutsk, Russia [vasilevatig@yandex.ru](mailto:vasilevatig@yandex.ru)

**Abstract:** The results of the study of mineral phases of the relict of the paleohydrothermal system that formed copper mineralization associated with the late Permian-early Triassic gabbroids of the Truong Son orogenic belt are presented.

**Key words:** paleohydrothermal system, copper mineralization, palladium minerals, gabbroids, Chuong Son orogenic belt.

Пояс Чуонг Шон является главной орогенной структурой Северо-Западного и Центрального Вьетнама [1]. В его составе известно большое количество разнотипных месторождений Au, Cu, Pb, Zn, Sb, Sn, W, Li и других элементов, которые сформировались в течение процессов его формирования в разных геодинамических обстановках. Ареалы медной минерализации достаточно широко распространены в структурах пояса Чуонг Шон в тесной связи с габбро-гранитными массивами I типа (преимущественно в ассоциации с габброидами ранних фаз), что предполагает плутоногенный (магматогенный) генезис этой минерализации, с источником меди в габброидах ранних фаз, транспортировкой их на относительно небольшие расстояния от материнских магматических тел и локализацией в ареалах мелких разломов сопровождающих становление магматических тел.

В 2024 году во время посещения в центральной части орогенного пояса Чуонг Шон габбро-гранитного массива Йен Чу (Yen Chu) пермо-триасового возраста (251 Ma; U-Pb zircon, LA-ICP-MS), в выходе на поверхность крупнокристаллического до среднекристаллического габбро ранней фазы (Cr – до 2380 г/т; Ni – 303 г/т; V – 359 г/т), недалеко от контакта со сланцево-кварцитопесчаниковой толщей, выявлена зона разлома мощностью около 10-12 м, в которой осадки окварцованы и карбонатизированы, породы перемяты подроблены и содержат по поздним трещинам обильные пленки медной зелени. В самом же габбро в эндоконтакте отмечены овальные включения пирротина размером до 2-3 см. Разлом сопровождается маломощной оперяющей (1-1,5 м) прожилковой зоной (Az простираения 240-270 субвертикальная), состоящей из мелких (менее 5 мм) сетчато-параллельных (общему простираению) прожилков кварца с заметным количеством пирита чистого (один анализ дал 0.36% Ni), пирротина и халькопирита в эпидотизированных и окварцованных габбро. Количество сульфидов достигает до 10%, но в целом на мощность зоны не более 5%. Прослежена она на 55 метров. В габбро также отмечены прожилки

полевошпат-кварцевого состава мощностью 1-2 см, и причудливые прожилки лейкократового габбро, рассекающие габбро основного тела и габбро-пегматитовые обособления в нем.

В этой зоне прожилкования в измененном габбро было обнаружено овальное гнездо размером 5-8 см среди прожилков, выполненное черным землистым графито-подобным веществом с включениями силикатов. Однако анализ углерода в этой пробе не показал. Рентгенофазовый анализ в ИГАБМ СО РАН на дифрактометре D2 PHASER фирмы Bruker (Германия) (CuK $\alpha$  излучение, 30 кв, 10 ма; использована база данных PDF 2, аналитик Васильева Т.И.) показал, что основной минерал – сера, как примеси в этом веществе отмечены кварц, минерал из группы амфиболов, ярозит. Черный цвет образца, учитывая данные электронной микроскопии, может быть связан с незначительными примесями таких минералов, как пирит, вюстит, пирротин, самые сильные линии которых перекрываются или попадают в «плечо» от линий серы (сопоставление проводилось по эталонным данным из использованной базы). Возможны какие-то другие минералы, тонкодисперсные или аморфные. Чувствительность метода в нашем случае зависит от степени кристалличности минерала и его количества и варьирует от 2 до 5%.

Проверка отполированного агрегата частиц в эпоксидной смоле на микросонде Camebax (ЭДС-детектор Xmax-50, Oxford Instruments, программное обеспечение AZtec, режим Point ID) и сканирующей электронной микроскопией с рентгеноспектральным микроанализом (EVO-50, ЭДС спектрометры AXS XFlash, Bruker, программное обеспечение Quantax Esprite 1.9) (Северо-Восточный ЦКП, аналитики Соцкая О.Т., Горячева Е.М.) подтвердила данные рентгенофазового анализа. Наблюдения частиц, нанесённых на углеродный скотч, непосредственно под электронным микроскопом (метод P/B ZAF) показало, что преобладают частицы самородной серы, сульфатов железа (мелантерит), много барита, халькопирита, сфалерита, галенита, арсенопирита (рис. 1). Кроме того, в этом веществе отмечены единичные микросрастания-включения (1-3 мкм) теллуридов Bi и Pd (майченерит, кейтконит?) (см. рис. 1), PdSb (мертиит), IrAs, самородного Te, йодида Ag, акантита, молибденита, монацита, фосфида Ni (табл. 1), типоморфных для рудной минерализации, связанной с габброидами.

Таблица 1. Состав некоторых рудных минералов из изученного вещества (масс. %)

Минерал	Pd	Bi	Te	Sb	C	Ni	P	Ir	A	Fe	S
Мертиит (1)	74 ,77	0	0	23 ,52	1, 70	0	0	0	0	0	0
Кейтконит ? (3)	76 ,85	9, 70	11 ,06	1, 79	0, 59	0	0	0	0	0	0
Иридарсен (1)	0	0	0	0	0	1, 20	0	46 ,33	52 ,47	0	0
NiP (7)	0	0	0	0	0	92 ,07	7 ,93	0	0	0	0
Майченерит (12)	19 ,6	45 ,29	28 ,58	4, 07	1, 43	1, 03	0	0	0	0	0
Арсенопирит (2)	0	0	0	0	0	0	0	0	42 ,85	35 ,80	21 ,35
Халькопирит (4)	0	0	0	0	33 ,68	0	0	0	0	31 ,79	34 ,53

Примечание: в скобках количество измерений, составы пересчитаны к 100%

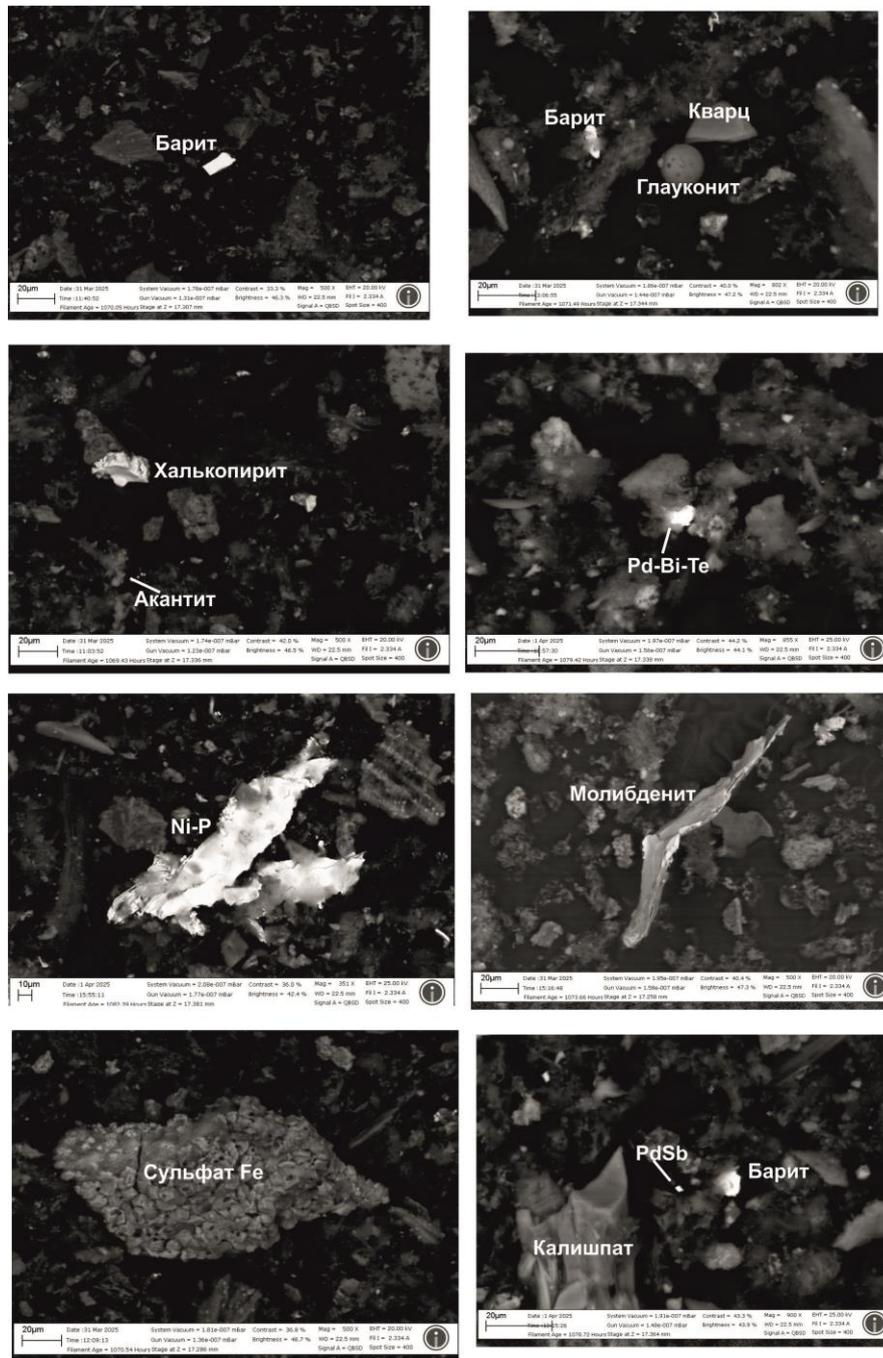


Рисунок 1. Минеральные частицы в изученном материале. Электронно-микроскопические изображения выполнены в режиме обратно-рассеянных электронов

В отполированном агрегате проанализировано в AZtec 421 частица. Анализировались все частицы подряд. Основная масса проанализированных частиц состоит из самородной серы (до 93-94 мас.%) и частиц сульфата железа в разных пропорциях. Пирит, халькопирит, альбит, пироксен, амфибол, кварц, каолинит, хлорит, плагиоклаз и барит присутствуют в единичных зёрнах.

Проведенные исследования, позволяют предположить, что мы обнаружили реликтовую полость древней гидротермальной системы, сформировавшей медную минерализацию, обнаруженную в экзоконтакте габбро. Несмотря на редкость находок охарактеризованных рудных минералов можно оценить комплексность рудоформирующих флюидов и их генетическую (наличие халькопирита, пирротина, минералов палладия, иридия, никеля и пр.) близость с материнскими габброидами. Это позволяет также предполагать данную находку в качестве признака (критерия) для перспективности габброидов массива Иен Чу на медь и благородные металлы.

*Работа выполнена в рамках проекта «Эволюция Палеозой-мезозойского магматизма и связанная металлогения складчатого пояса Truong Son». Код: DTĐLCN.15/23.*

**Библиографический список**

1. Geology and GeoResources of Vietnam. – Hanoi: Publishing House for Science and Technology, 2023. – 349 p.

## Условия образования кварцево-жильных объектов Урала

*Корекина М.А.<sup>1</sup>, Анкушева Н.Н.<sup>1</sup>, Савичев А.Н.<sup>1</sup>, Игуменцев К.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН), Миасс, Россия, [maria@mineralogy.ru](mailto:maria@mineralogy.ru)

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** В работе представлены результаты по изучению P-T режима формирования кварцево-жильных образований Уральской кварценозной провинции. Показано, что состав и температура гидротермальных растворов, а также давление в момент формирования кварцевых жил напрямую связаны с составом исходных пород и геодинамическими условиями района. Наблюдаемые различия в температурах и солёности флюидов свидетельствуют о многоэтапном процессе образования и преобразования, кварцевых жил.

**Ключевые слова:** кварц, флюидные включения, термометрия, температура, давление

## Conditions of formation of polygenic quartz-vein objects of the Urals

*Korekina M.A.<sup>1</sup>, Ankusheva N.N.<sup>1</sup>, Savichev A.N.<sup>1</sup>, Igumentsev K.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution of Science South Ural Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (SU FRC MG UB RAS), Miass, Russia, [maria@mineralogy.ru](mailto:maria@mineralogy.ru)

<sup>2</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** The paper presents the results of studying the P-T mode of formation of quartz-vein formations of the Ural quartz-bearing province. It is shown that the composition and temperature of hydrothermal solutions, as well as the pressure at the time of formation of quartz veins, are directly related to the composition of the source rocks and the geodynamic conditions of the area. The observed differences in temperatures and salinity of fluids indicate a multi-stage process of formation and transformation of quartz veins.

**Key words:** quartz, fluid inclusions, thermometry, temperature, pressure

Уральский регион заслуженно считается крупнейшим в России хранилищем кварцево-жильного сырья России. Это богатство, сформировавшееся за миллионы лет сложных геологических процессов, представлено разнообразными типами кварцевых жил, отличающихся условиями образования. Основная масса запасов кварцевого сырья приходится на жилы выполнения и замещения, сложенные гидротермальным кварцем. Данные кварцевые образования, продукт метаморфогенно-метасоматических и метаморфогенных процессов, сосредоточены преимущественно в нескольких значительных по масштабам кварценозных районах, таких как Уфалейский (Кыштымское, Кузнечихинское, Уфимское, Пугачевское месторождения и т.д.), Сысертско-Ильменогорский (Ларинское, Вязовское, Аргазинское месторождения и т.д.), и Сакмарский (Новотроицкое, Караяновское месторождения и т.д.). Расположение данных кварценозных районов тесно связано с геологическим строением Уральского орогена – горной системы, история формирования которой насчитывает сотни миллионов лет. Урал представляет собой сложную тектоническую «мозаику», результат масштабных геологических событий, включающих в себя коллизию, субдукцию и интенсивный магматизм, приведший к образованию многочисленных интрузивных массивов. Ороген характеризуется наличием шести основных субмеридиональных (простирающихся преимущественно с севера на юг) тектонических мегазон, разделенных глубокими разломами. Эти разломы, часто маркированные массивами ультрабазитовых пород, не просто разделяют тектонические блоки, но и играют ключевую роль в формировании крупных структурных элементов Урала, контролируя расположение и форму интрузивных массивов. Детальное описание геологического строения Уральского орогена приведено в работе В.Н. Пучкова [1].

На региональном уровне, формирование кварцевых жил тесно связано с процессами метаморфизма и метасоматоза. Эти процессы, протекавшие при различных температурных режимах, наложили отпечаток на структурно-текстурные особенности, минеральный и микроэлементный состав кварца, его технологические свойства, определяющие пригодность сырья для различных отраслей промышленности.

Несмотря на многолетние и масштабные исследования кварцево-жильных месторождений Урала, проведенные многими учеными (Г.Н. Вертушкова, Е.П. Мельникова, А.И. Белковского, Э.Ф. Емлина, В.В. Буканова, Д.П. Григорьева, С.К. Кузнецова, Г.Г. Леммлейна, Ю.А. Поленова, В.Н. Огородникова, С.Н. Сигаева, Г.А. Синкевича, Г.И. Страшненко, А.А. Щеколдина, В.И. Якшина и др.), механизм образования кварцевых жил до сих пор остается предметом научных дискуссий. Различные гипотезы, предлагаемые исследователями, рассматривали сложные взаимодействия магматических, метаморфических и гидротермальных процессов, приведшие к формированию этих уникальных геологических образований. Некоторые модели акцентируют внимание на роли флюидов, циркулирующих по тектоническим трещинам и разломам, выносящих растворенные вещества из глубинных частей земной коры и осаждающих кварц в благоприятных условиях. Другие модели подчеркивают значимость метасоматических реакций, происходящих при взаимодействии флюидов с окружающими породами.

Понимание условий кварцеобразования, в частности P-T параметров, критически важно для оценки их промышленной ценности, так как оказывает непосредственное влияние на выбор технологии их промышленной переработки. Ключевую роль в этом понимании играют флюидные включения (ФВ), представляющие собой микроскопические «капсулы времени», захваченных кристаллами кварца во время роста и преобразованные в процессе воздействий на кварцевые тела вторичных процессов.

Для оценки температур образования кварца, концентраций и состава солей минералообразующих растворов были проанализированы флюидные включения в плоскополированных кварцевых пластинах толщиной 0.2–0.3 мм. Термобарометрические измерения выполнены в термокамере TMS-600 (Linkam) с программным обеспечением LinkSystem 32 DV-NC и оптическим микроскопом Olympus BX-51, оборудование позволяет производить измерения температур фазовых переходов в интервале от –196 до +600 °С (Геологический факультет Южно-Уральского государственного университета, г. Миасс, аналитики Н.К. Никандрова, Н.Н. Анкушева). Точность измерений составляет  $\pm 0.1$  °С в интервале температур от –20 до +80 °С и  $\pm 1$  °С за пределами этого интервала. Солевой состав растворов во включениях оценивался по температурам эвтектики [2]. Концентрации солей в растворах рассчитаны по температурам плавления льда [3]. Изучение водно-углекислотных флюидных включений позволило определить давление [4].

Исследование кварцевых объектов показало, что их формирование происходило в условиях широкого диапазона температур, при относительно стабильном давлении. Анализ температур минералообразования, скорректированный на давление, выявил значительные вариации в зависимости от генетического типа кварца. Так для Уфалейского и части объектов Сыскртско-Ильменогорского кварценозных районов, в которых преобладают жилы гранулированного кварца гидротермально-метаморфогенно-метасоматического генезиса температура кварцеобразования варьирует от 220 до 440 °С, при давлении 1.2-1.5 кбар. Для кварцевых объектов крупно-гигантозернистого молочно-белого кварца гидротермально-метаморфогенного генезиса жил, преобладающих в Сакмарском и Южно-Уральском районах, температуры гомогенизации, определённые по флюидным включениям, варьируют в пределах 310–450 °С, при давлении 1.3-2.5 кбар [5]. Кварц гидротермально-метаморфогенного генезиса характеризуется, в среднем, более высокими температурами. Это может указывать на различия в источниках флюидов, глубине залегания и т.д.

Наблюдается постепенное снижение температуры в кварцевых индивидах – от более крупнозернистых (более ранних) к интенсивно деформированным (более поздним). Это, вероятно, результат воздействия процессов регрессивного метаморфизма, при которых породы претерпевали преобразования в условиях низкотемпературной зеленосланцевой фации.

Химический состав флюида, принимавшего участие в формировании, жил гидротермально-метаморфогенно-метасоматического генезиса, характеризуется присутствием K-Na-хлоридного флюида с соленостью 1.2-8.7 масс. % NaCl-эквивалента. В

случае жил гидротермально-метаморфогенного генезиса состав флюида преимущественно К-Na-Mg-хлоридный с более широким диапазоном солености – 0.2-15.5 масс. % NaCl-экв.

Различия в ионном составе флюидов объясняются составом материнских источников гидротермальных растворов. В первом случае (гидротермально-метаморфогенно-метасоматическое генезис) источником служили интрузивные породы кислого и щелочного состава. Эти породы, остывая и кристаллизуясь на глубине, выделяли флюиды, обогащенные определенными компонентами. Во втором случае (гидротермально-метаморфогенное генезис) источником гидротермальных растворов были интрузивные породы среднего состава, что обусловило иной ионный состав флюидов и, соответственно, отличающиеся условия минералообразования [5].

*Коллектив авторов выражает большую благодарность Никандровой Н.К. за выполнение аналитических исследований.*

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Челябинской области в рамках научного проекта № 25-27-20047.*

#### **Библиографический список**

1. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Посвящается 300-летию Горно-геологической Службы России // Уфа: ГТЛЕМ, 2000. 146 с.
2. Борисенко, А.С. Изучение солевого состава растворов флюидных включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–28.
3. Bodnar, R.J. and Vityk, M.O. Interpretation of microthermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions. In: B.De Vivo, M.L.Frezzotti, Pontignano, eds, Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Siena. 1994. P. 117–130.
4. Brown P.E. FLINCOR: a new microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. American Mineralogist. 1989. V. 74. P 1390–1393.
5. Корекина М.А., Савичев А.Н. Условия образования и источники флюидов месторождений безрудного жильного кварца гидротермально-метаморфогенно-метасоматического и гидротермально-метаморфогенного генезиса (Средний и Южный Урал) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2023. Т. 68. № 2. С. 200-217.

## Закономерности образования сульфидных PGE-Cu-Ni месторождений на севере Восточной Сибири

*Криволицкая Н.А.<sup>1</sup>, Гонгальский Б.И.<sup>2</sup>, Краснова Е.А.<sup>1,3</sup>, Бычков А.Ю.<sup>3</sup>, Габлина И.Ф.<sup>4</sup>, Баранов А.А.<sup>5</sup>, Свирская Н. М.<sup>1</sup>, Коньшев А.А.<sup>6</sup>, Грязнова А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия, nakriv@mail.ru

<sup>2</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия, brgon@mail.ru

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, eakrasnova@gmail.com

<sup>4</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия,

<sup>5</sup>Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия, aabaranov@gmail.com

<sup>6</sup>Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия, icelopa@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматриваются главные проблемы генезиса месторождений Арктической зоны Восточной Сибири, к которой относятся уникальные PGE-Cu-Ni месторождения Норильского района. Основными дискуссионными вопросами являются связь рудоносных интрузивов с лавами, составы рудоносных магм и роль ассимиляции вмещающих пород расплавами при образовании руд. Показано, что основные современные модели формирования месторождений полностью не учитывают все геологические особенности месторождений, в частности, их расположение на севере Сибирской провинции. Предложена новая гипотеза их образования в результате коллизии Карского и Сибирского континентов.

**Ключевые слова:** Cu-Ni месторождения, Сибирская трапповая провинция, генезис, коллизия.

## Regularities of formation of sulfide PGE-Cu-Ni deposits in the north of Eastern Siberia

*Krivolitskaya N.A.<sup>1</sup>, Gongalsky B.I.<sup>2</sup>, Krasnova E.A.<sup>1,3</sup>, Bychkov A.Yu.<sup>3</sup>, Gablina I.F.<sup>4</sup>, Baranov A.A.<sup>5</sup>, Svirskaya N.M.<sup>1</sup>, Konyshov A.A.<sup>6</sup>, Gryaznova A.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia, nakriv@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia, brgon@mail.ru

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, eakrasnova@gmail.com

<sup>4</sup>Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,

<sup>5</sup>Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, aabaranov@gmail.com.

<sup>6</sup>Institute of Geology, Karelia Science Center RAS, Petrozavodsk, Russia, icelopa@gmail.com

**Abstract.** The article deals with the main problems of deposits' genesis in the Arctic zone of Eastern Siberia, which includes the unique PGE-Cu-Ni deposits of the Norilsk district. The main discussion issues are the relationship of ore-bearing intrusions with lavas, compositions of ore-bearing magmas and the role of assimilation of host rocks by melts during ore formation. It is shown that the main modern models of the deposits do not fully take into account all their geological features, in particular, their location in the north of the Siberian province. A new hypothesis of their formation as a result of collision of the Kara and Siberian continents is proposed.

**Key words:** Cu-Ni deposits, Siberian trap province, genesis, collision.

**Введение.** Современная мировая экономика базируется на разработке крупных и уникальных месторождений, поставляющих более 80% сырья на мировой рынок и являющихся гигантскими геохимическими аномалиями в земной коре. К таким объектам принадлежат норильские месторождения, характеризующиеся одновременно уникальными запасами никеля и платиновых металлов, что определяется их уникальным строением – приуроченностью мощных сульфидных руд к тонким телам габбро-долеритов Сибирской трапповой провинции. Это отличает их от остальных Cu-Ni месторождений мира, связанных с крупными протерозойскими плутонами. В связи с особым геологическим строением возникает вопрос о роли траппового магматизма в образовании месторождений: являются ли они закономерным итогом развития любой трапповой системы, или они образовались в

особых условиях? От ответа на этот вопрос зависят поиски аналогичных объектов не только на Сибирской платформе, но и в других провинциях мира.

Главной особенностью норильских месторождений является высокое содержание сульфидов – руды составляют до 15 % от силикатных пород, что существенно превышает растворимость серы в базитовых магмах. Поэтому главным вопросом их генезиса является вопрос об источнике серы и ее вовлечении в рудообразование.

Современные модели образования месторождений принципиально отличаются местом появления сульфидов в магматической системе: либо они были привнесены в камеру кристаллизации пикритовым расплавом с повышенными содержаниями летучих [1], либо они возникли *in situ* в результате длительного взаимодействия толеитовой магмы с вмещающими эвапоритами при ее протекании к поверхности [2]. Каждая из гипотез имеет свои преимущества и недостатки, но остается ряд вопросов, который требовал ответа: 1- взаимоотношения лав и интрузивов: открытая или закрытая магматическая система, 2- состав родоначальных магм, 3- масштаб и роль ассимиляции в образовании руд.

**Результаты исследований.** Обычно взаимосвязь между базальтами и интрузивами определяется во многих работах близостью их редкоэлементного состава. Однако доказать существование предложенной открытой системы можно только на основании геологических данных. Анализ крупнейшего в мире Октябрьского месторождения свидетельствует о том, что интрузивные породы никак не были связаны с лавами. Таким образом, руды сформировались в условиях закрытой системы.

Состав родоначального расплава, из которого кристаллизовались рудоносные интрузивы, определялся разными методами: подсчетом средневзвешенного состава интрузивов; с помощью математического моделирования – ЭВМ программы «КОМАГМАТ»; путем изучения расплавных и флюидных включений в минералах.

Все методы дали хорошо сопоставимые результаты. Но последний метод помог определить и содержания летучих компонентов в рудоносных магмах. Несмотря на то, что многими исследователями предполагаются высокие содержания воды в магмах, они оказались низкими и соответствуют концентрациям, установленным для типичных внутриплитных магм. Они близки в рудоносных и безрудных массивах.

И, наконец, наиболее важный вопрос: источник серы в норильских рудах. Он был поставлен в начале 50-ых годов М.Н. Годлевским, который высказал идею об ассимиляции ее магмой из вмещающих пород. Для проверки этого предположения был выполнен большой объем данных, которые вроде подтвердили эту идею [1], т.к. норильские руды оказались обогащены тяжелой серой до  $\delta^{34}\text{S}=+13$  промилле и таким образом, отличаются от остальных медно-никелевых месторождений мира. Однако со временем Л.Н. Гриненко нашла ряд контраргументов [3]. Нами они частично сформулированы ниже:

1. Температура плавления ангидрида ( $1450^\circ\text{C}$ ) намного выше температуры расплава ( $1250^\circ\text{C}$ ), поэтому он не может просто растворяться в магме;
2. Быстрое остывание интрузива препятствует длительному взаимодействию магмы с вмещающими породами, что подтверждается как структурно-текстурными особенностями пород (присутствием стекла, стекловатых включений в порообразующих минералах и их зональным строением), так и геохимией контактовых зон (ассимиляция либо отсутствует, либо проявлена в 1-3 м у контактов интрузивов);
3. Близость средневзвешенных составов интрузивов, залегающих в разных породах - карбонатных, терригенных и вулканогенных - свидетельствует об отсутствии ассимиляции *in situ*;
4. Разная рудоносность массивов, залегающих в одних и тех же породах (Хараелахского и Вологочанского, например) не подтверждает роль ассимиляции вмещающих пород в образовании руд;
5. Масс-балансовые расчеты кальция свидетельствуют об отсутствии обогащенности им интрузивных и окружающих их пород.

Таким образом, обе модели в полной мере не соответствуют геологическим данным. Особенно модель открытой системы, несмотря на ее широкое распространение в мире. Несомненно, сульфиды были привнесены в камеру кристаллизации из глубинных зон Земли.

Но обе модели рассматривают только локальные факторы при решении проблем генезиса руд.

Мы решили взглянуть на проблему формирования месторождений шире, проанализировав их положение в пределах платформы. Все они расположены только в ее северной части в пределах рифтовых зон. Ранее это объяснялось существованием здесь глубинных разломов, по которым мантийные магмы поднимались к поверхности. Но установление коровых характеристик рудоносных расплавов не подтверждает эту идею.

Для выяснения специфики магматизма Норильского района мы сравнили вулканогенные и интрузивные породы разных районов Сибирской провинции. Оказалось, что северные районы – Норильский, Таймыр, Маймеча-Котуйский - характеризуются максимальным разнообразием составов и включают породы как мантийного генезиса, так и с коровыми характеристиками, т.е. рифтогенные и платформенные, т.е. типичные трапповые образования. А южные районы отличаются очень выдержанным составом как интрузивов, так и эффузивов только трапповой формации.

Изучение на северном плече Енисей-Хатангского прогиба крупного, до 60 км протяженностью, Дюмталейского массива с медно-никелевыми и титаномагнетитовыми рудами, во многом помогло продвинуться в решении проблемы источника серы в месторождениях севера Восточной Сибири. Оказалось, что минеральный состав и изотопные характеристики (осмия и серы) сульфидных руд этого массива идентичны таковым норильских месторождений. Но по составу расплава массив резко отличается от пород норильского рудоносного комплекса – он близок к гудчихинской свите, образованной из мантийного источника. Это позволяет сделать вывод о том, что мантийные магмы этого района были обогащены тяжелой серой. Такое предположение в 1984 г. сделал А.П. Лихачев, но тогда это трудно было доказать. В ходе исследования нами было обнаружено еще несколько аналогичных массивов с тяжелой серой и примерно очерчен ее очаг, существовавший на глубине 200-300 км в конце палеозоя. В связи с полученными данными встает вопрос об источнике серы в мантии.

Представляется, что сера могла попасть в мантию, благодаря вовлечению серосодержащих осадков при коллизии Сибирского и Карского континентов в конце палеозоя. Нами выдвинута следующая рабочая гипотеза, включающая несколько этапов:

- эрозия серосодержащих пород и снос осадков в океан;
- затягивание осадков в мантию в процессе субдукции океанической плиты с осадками на поверхности при коллизии Карского и Сибирского кратонов;
- частичное плавление и подъем серосодержащих пород вместе с водой и другими легкими элементами в процессе погружения океанической плиты с их попаданием под Сибирский континент;
- разложение сульфатов и сульфидов;
- попадание газообразной или сульфидной серы в магмы с изменением / или сохранением ее изотопного состава;
- внедрение серосодержащих магм в разные части земной коры либо непосредственно из мантии (Дюмталейский массив), либо с промежуточным концентрированием в низах земной коры (месторождения Норильского района).

Возможными источниками серы могли быть как древние сульфиды медистых песчаников Игаркинского района, так и сульфатсодержащие осадки кембрия-девона, широко распространенные на Сибирской платформе. Одним из доказательств существования первого из источников являются повышенные содержания меди в норильских рудах по сравнению с аналогичными месторождениями мира.

Согласно построениям В.А. Верниковского с соавторами, коллизия Карского и Сибирского континентов, имела место около 300 млн. лет назад [5]. На основании этих данных А. Барановым с использованием модели [3] показано, что принципиально такой механизм осуществим. При погружении океанической плиты с осадками на поверхности в мантию значительная часть океанической коры с осадками попала в верхнюю мантию под крупный

континент (Сибирский), в то же время другая ее часть со временем опустилась в нижнюю мантию.

Второй этап образования месторождений связан уже с приповерхностными процессами – с внедрением рудоносных магм и их кристаллизацией в условиях верхней коры, где образовались сульфидные руды. Изучение месторождений Норильского района показало, что многие из них образованы не одним, а несколькими интрузивами. В частности, это относится к крупнейшему в мире Октябрьскому месторождению, связанному с Хараелахским массивом, состоящим из многочисленных мелких интрузивных тел, а также к Талнахскому, Вологочанскому и другим. Во многом эти выводы базируются на наших минералого-геохимических данных. Наиболее ярко это проявлено для Масловского месторождения, в котором его северная часть является продолжением массива Норильск I, а южная представляет собой самостоятельный интрузив.

**Выводы.** Образование месторождений на севере Восточной Сибири имело место в области с аномальным составом мантии, обогащенной тяжелой серой, в пределах палеорифтовых зон, характеризующихся проявлением как рифтового, так и собственно траппового магматизма. Таким образом, можно ответить на вопрос, поставленный в начале: крупные сульфидные месторождения не являются результатом закономерного развития любой трапповой системы. Они образовались в особых геолого-тектонических условиях.

В целом же можно заключить, что уникальные месторождения возникают в результате сочетания ряда геологических процессов, которые приводят к концентрированию металлов. Нельзя создать единую модель для всех месторождений даже одного генетического типа, что наблюдается в мировой практике.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Государственные задания Институту геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН и Институту геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН).*

#### **Библиографический список**

1. Годлевский М.Н. Траппы и рудоносные интрузии // М.: Госгеолтехиздат, 1959. 61 с.
2. Радько В.А. Модель динамической дифференциации интрузивных траппов северо-запада Сибирской платформы // Геология и геофизика. 1991. Т.11. С. 19-27.
3. Bobrov A. M, Baranov A. A. Modeling of moving deformable continents by active traces: closing and opening of oceans, recirculation of oceanic crust // Geodynamics & Tectonophysics. 2018. V.9, No 1. P.287-307.
4. Grinenko L.N. Sources of sulfur of the nickeliferous and barren gabbro-dolerite intrusions of the northwest Siberian platform //International Geology Review. 1985. V. 27. №. 6. P. 695-708.
5. Vernikovskiy V.A. et al. Geodynamics and oil and gas potential of the Yenisei-Khatanga basin (Polar Siberia) //Minerals. 2018. V. 8. №. 11. 510.

**Первые данные о взаимосвязи ТЭДС и интенсивности дымчатости в кристалле кварца с Шерловой Горы**

*Миронова Е. В., Юргенсон Г.А.*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук  
ИПРЭК СО РАН, Чита, Россия

[mironova20-11@mail.ru](mailto:mironova20-11@mail.ru)

**Аннотация.** Изложен первый опыт выявления взаимосвязи электрических свойств и состава жильного кварца на примере кристалла кварца Шерловой Горы. Установлена зависимость между дымчатой окраской кварца и величиной термоэлектрической движущей силы (ТЭДС). Чем выше концентрация Al в позиции кремния, проявляющаяся интенсивностью дымчатой окраски, тем выше коэффициент ТЭДС.

**Ключевые слова:** жильный кварц, горный хрусталь, микрозонд, ТЭДС, Шерловая Гора

**First data on the relationship between thermoelectric driving force and haze intensity in a quartz crystal from Sherlova Mountain**

*Mironova E. V., Yurgenson G. A.*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

[mironova20-11@mail.ru](mailto:mironova20-11@mail.ru)

**Abstract.** The first experience of revealing the relationship between the electrical properties and composition of vein quartz is presented using the example of the Sherlova Gora quartz crystal. The relationship between the smoky color of quartz and the value of the thermoelectric driving force is established. The higher the concentration of Al in the silicon position, which is manifested by the intensity of the smoky color, the higher the TEMF coefficient.

**Key words:** vein quartz, rock crystal, microprobe, TEDF, Sherlova Mountain

Целью настоящей работы было выяснение зависимости интенсивности дымчатой окраски кварца и его электрических свойств. Поскольку они связаны с дефектами структуры кварца, в том числе и с концентрациями алюминиевых ЭДЦ. Это важно для того, чтобы оценивать интенсивность радиоактивного воздействия. Суть в том, что в кварце реализуются замещения кремния алюминием, железом (III), германием, титаном. При замещении кремния алюминием в результате воздействия природного радиоактивного излучения кристалл кварца окрашивается в различной интенсивности дымчатый цвет. Интенсивность дымчатой окраски может быть обусловлена двумя факторами: с одной стороны, присутствием алюминиевых электронно-дырчатых центров (ЭДЦ), а с другой стороны интенсивностью воздействия на них радиоактивного излучения [1, 2].

**Материал и метод исследования**

Объектом изучения является образец кристалла кварца месторождения Шерловая Гора. Для исследования от кристалла отделена и отполирована пластина шириной около 0,5 см. Изучение химического состава кварца выполнено электронно-зондовым методом на растровом электронном микроскопе LEO 1430 VP (аналитики Е.А. Хромова, Е.В. Ходырева, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, руководитель лаборатории канд. техн. наук С.В. Канакин). Измерения проводились в целом ряде точек кварца (рис. 1). Эта же пластина подвергалась измерениям на приборе ВИМ-2, для определения типа проводимости, регистрации ТЭДС (измерение выполнено одним из авторов). Показатели ТЭДС получены при разных температурах измеряющего электрода, в диапазоне 28 - 388°C, с тех же участков, которые исследованы микрозондом.

**Результаты исследования и обсуждение**

Образец кварца представляет собой кристалл ритмичного строения, ритмы кварца четко отличаются интенсивностью цвета (рис. 1). Данные микрозондового анализа подтверждают, что интенсивность дымчатой окраски кварца в кристалле, обусловлена содержанием Al в позиции кремния (табл.).

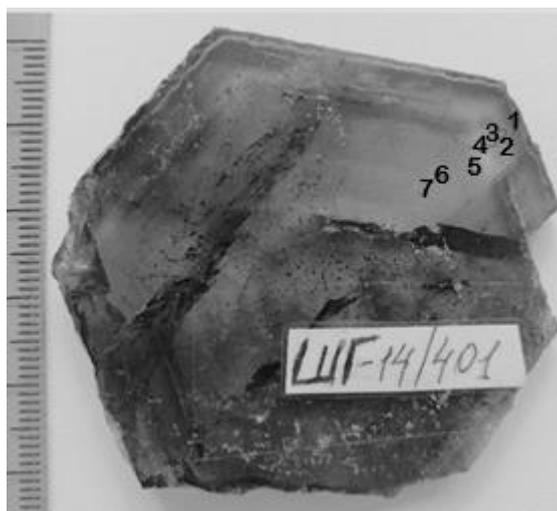


Рисунок 1. Образец кварца месторождения Шерловая Гора

Участок 1 исследуемого кварца представляет собой чередование светлых и темных полос. На этом участке произведено семь измерений содержания Al (рис. 2, а). На спектрах микрозондового анализа Al присутствует в каждой точке измерения: в первых двух содержание  $<0,01\%$  (горный хрусталь), содержание Al в темной полосе (цифра 4) больше (1,17), чем в светлых полосах 3, 5, 6 (0,8; 0,28; 0,47 соответственно).

На рисунке 2 видно, что строение кварца участка 1 и участка 2 различны. Строение кварца участка 1 более упорядоченное, темные и светлые ритмы роста кварца чередуются 1:1. Структура кварца участка 2 разупорядочена. Присутствуют слои кварца с противоположным направлением роста кристалла. Четкого чередования присутствующих серых и светло-серых полос нет. Толщина ритмов роста кристалла не одинаковая.

Участок 4, исследованный микрозондом (рис. 2, в), представляет собой кварц однотонного темно-дымчатого цвета. Измерения выполнялись в разных точках фрагмента кристалла кварца.

На участке 2 микрозондом измерено 4 точки (рис. 2, б), на участке 4 – 5 точек (рис. 2, в). На всех спектрах отмечаем присутствие Al, Ti, Fe, Ge с концентрациями  $<0,01\%$  (рис. 3).

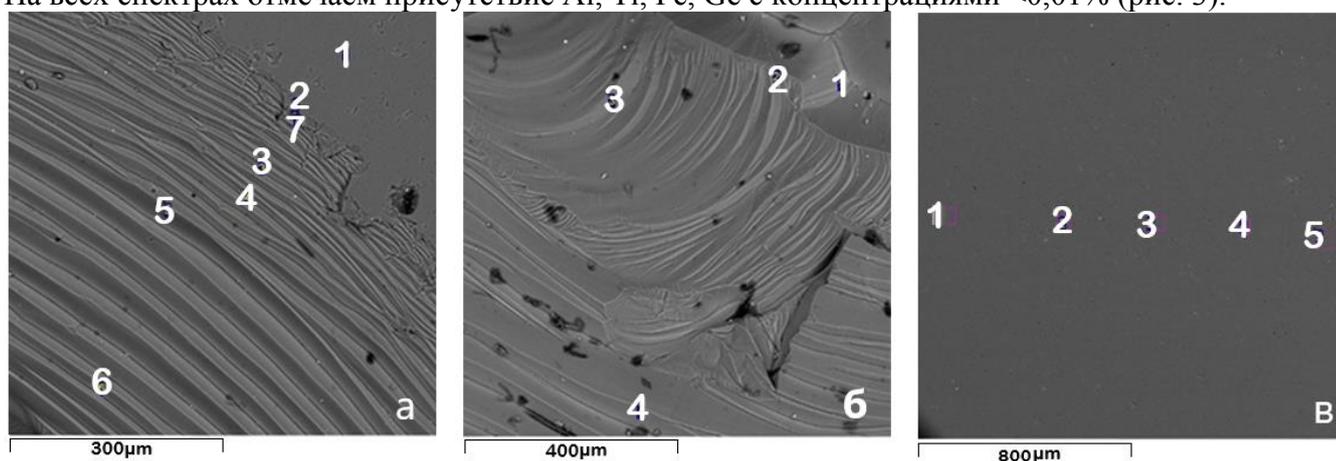


Рисунок 2. Участки кристалла ШГ-14/401: а – участок 1, б - участок 2, в - участок 4

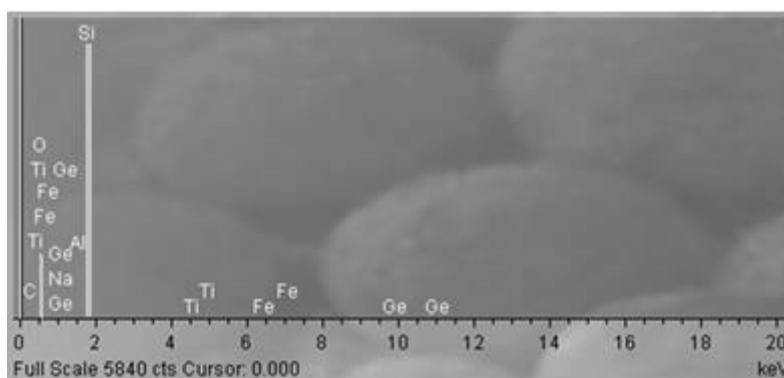


Рисунок 3. Типичный спектр кристалла кварца в одной из точек измерения

В таблице приведены сравнительные данные ТЭДС и состава кварца (табл.).

Таблица. Основные экспериментальные результаты определения ТЭДС

Цифра	E, мкВ	$\alpha$ , мкВ/°C
1	66466,4	2826,9
2	165138,6	1599,9
3	153309,4	1502,6
4	89452,1	866,1
5	120692,2	919,6
6	73878,75	166,13
7	119966,875	1272,03

На рисунке 4 показана зависимость ТЭДС и интенсивности дымчатости.

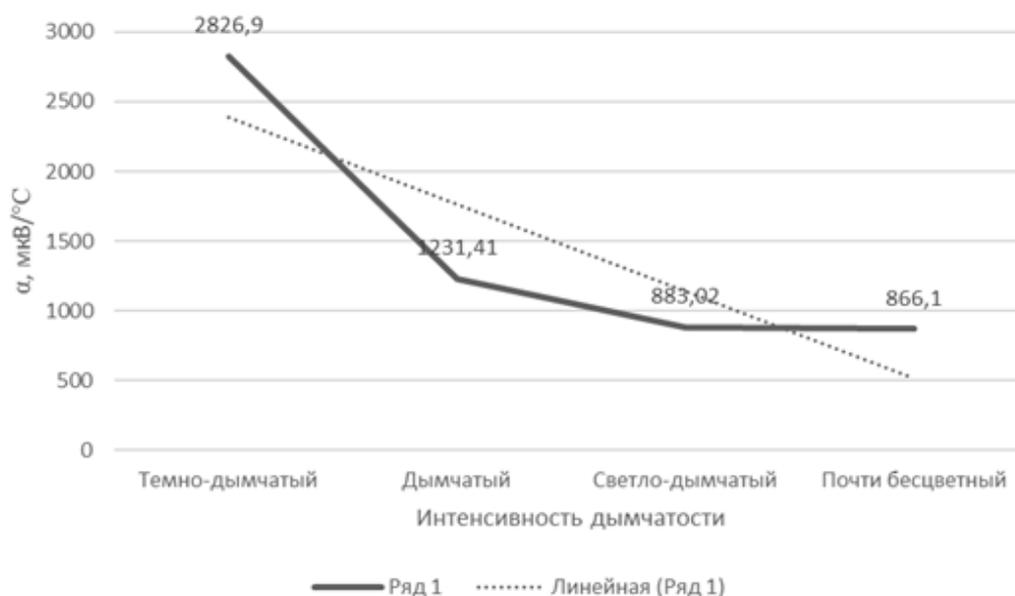


Рис. 4. Зависимость коэффициента ТЭДС от дымчатости кварца

### Выводы

Впервые установлена зависимость между интенсивностью дымчатой окраски кварца и величиной ТЭДС.

Работа выполнена в рамках Госзадания № FUFР-2021-0005.

### Библиографический список

1. Марфунин А.С., Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах // М.: Недра, 1975. 327 с.
2. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации // Н.: Наука, 2003. 368 с.

**Новые данные по ИК-спектроскопии МНПВО жильного кварца  
некоторых месторождений**

*Миронова Е. В., Юргенсон Г. А.*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук  
ИПРЭК СО РАН, Чита, Россия  
[mironova20-11@mail.ru](mailto:mironova20-11@mail.ru)

**Аннотация.** Изложен опыт выявления тенденции изменения индекса кристалличности жильного кварца некоторых месторождений с различными глубинами их образования. Методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения в ИК-области спектра (ИК-МНПВО) исследованы образцы жильного кварца некоторых месторождений Забайкальского края. Для оценки изменения кристаллической фазы и степени изменения жильного кварца от глубины образования использовался индекс кристалличности ( $K_i$ ), рассчитанный по параметрам дублета при  $775...802\text{ см}^{-1}$ . С глубиной увеличивается значение индекса кристалличности.

**Ключевые слова:** жильный кварц, многократное нарушенное полное внутреннее отражение, вулкан, рудная формация, индекс кристалличности

**I New data on IR – spectra of MFTIR of vein quartz  
from some deposits**

*Mironova E. V., Yurgenson G. A.*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia  
[mironova20-11@mail.ru](mailto:mironova20-11@mail.ru)

**Abstract.** The article presents the experience of identifying the trend of changes in the crystallinity index of vein quartz from some deposits with different depths of their formation. The method of multiple attenuated total internal reflection in the IR spectral region (IR-ATR) was used to study vein quartz samples from some deposits in the Trans-Baikal Territory. To assess the change in the crystalline phase and the degree of change in vein quartz from the depth of formation, the crystallinity index ( $K_i$ ) calculated from the doublet parameters at  $775...802\text{ cm}^{-1}$  was used. The value of the crystallinity index increases with depth.

**Key words:** vein quartz,  $\alpha$ -quartz, multiple frustrated total internal reflection, volcano, ore formation, crystallinity index

**Введение.** Методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения в ИК-области спектра (ИК-МНПВО) изучены особенности строения вещества на молекулярном и надмолекулярном уровнях его организации. Метод применяется для изучения адсорбированного состояния молекул [1], искажения структуры и других свойств [2].

Ранее при исследовании ИК-спектроскопия МНПВО минеральных агрегатов кремнезема, содержащих различные количества опала, халцедона и кварца безрудных вулканитов и месторождений малоглубинной золотосеребряной и среднеглубинной золото-кварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, выявлены четкие различия ИК спектров МНПВО опал-халцедон-кварцевых агрегатов из безрудных вулканитов и надрудной зоны месторождения малоглубинной золотосеребряной формации, заключающиеся в расщеплении полосы поглощения  $K_3$  ( $475...490\text{ см}^{-1}$  на два пика при  $470 - 484$  и  $492 - 500\text{ см}^{-1}$ , обусловленное соотношением содержания опала, халцедона и кварца; установлена связь соотношений интенсивностей полос поглощения в спектрах с величиной степени совершенства кристаллического строения (СКС) и глубиной их образования [3].

В настоящей работе методом ИК-спектров МНПВО изучили образцы жильного кварца некоторых месторождений с разными глубинами образования. Для оценки степени изменения жильного кварца использовался индекс кристалличности ( $K_i$ ), рассчитанный по параметрам дублета при  $775...802\text{ см}^{-1}$ , который обусловлен Si-O-Si колебаниями колец из  $\text{SiO}_4$ -тетраэдров [4, 5].

Целью исследования является определение индекса кристалличности, для идентификации структурно-текстурных особенностей жильного кварца и предпосылок для экспрессного способа определения принадлежности его к определенным условиям образования рудных месторождений.

### Материал и метод исследования

Данная работа выполнена на образцах жильного кварца, взятых из коллекции большеобъемных выборок, изученных одним из авторов в 1980–1990-х в лаборатории минералогии ЗабНИИ МГ СССР.

Для изучения использованы образцы: 1) опал-халцедоновых миндалинов и жильного материала в вулканических горных породах вулканов Зун-Торей и Дунда-Ага, не имеющих отношения к золотому оруденению (3 образца, 6 спектров), 2) опал-халцедоновые агрегаты и жильный халцедоновидный и тонкозернистый кварц Балейского рудного поля, включающего крупные, уникальные по содержанию золота, Тасеевское и Балейское месторождения малоглубинной золотосеребряной формации в Забайкалье (20 образцов и 33 спектра), в том числе, Тасеевского, представляющего собою верхнюю часть рудного поля (12 образцов и 21 спектр) и Балейского, 4) его нижней части (8 образцов и 12 спектров), 5) образцы месторождений золота среднеглубинной золото-кварцевой формации (Любавинское, 16 образцов и 20 спектров), 6) Среднеголготайское золото-сульфидно-кварцевой формации (5 образцов и 7 спектров), 7) образцы жильного кварца Шахтаминского месторождения (5 образцов, 9 спектров), 8) образцы жильного кварца месторождения Шерловая Гора (5 образцов, 9 спектров) и 9) образцы сфалерита месторождения Садон (2 образца и 2 спектра).

ИК-спектры МНПВО сняты с полированных образцов размером 1 x 1, 1 x 2 см на Фурье-спектрофотометре фирмы SHIMADZU в широком диапазоне длин волн 450 – 4000 см<sup>-1</sup> при комнатной температуре в лаборатории Академической кафедры химии Забайкальского государственного университета Д.А. Никитиным. Скорость съемки 2 см<sup>-1</sup>/сек.

### Результаты исследования и обсуждение

В настоящей работе изложены результаты выявленных методом ИК спектроскопии МНПВО особенных характеристик опал-халцедоновых агрегатов из вулканитов и верхних надрудных частей богатейшего Тасеевского месторождения малоглубинной золотосеребряной формации (МЗСФ), агрегатов халцедоновидного и тонкозернистого ЖК его продуктивной части, такого же кварца Балейского месторождения, являющегося его нижней частью, а также ЖК среднеглубинных месторождений золота. Согласно принятым в минерагии представлениям, интервалы глубины образования для вулканитов, среди которых развиты зоны с опалом и халцедоном, находятся в пределах десятков и первых сотен метров от земной поверхности, рудные тела близповерхностных, или малоглубинных, золотосеребряных месторождений, сложенных опал-халцедоновым, халцедоновидным слоистым, массивным или, редко, массивно-гребенчатым ЖК – от первых десятков метров до 500-700 м, среднеглубинных месторождений золота, сложенным массивным и массивно-гребенчатым ЖК от 1000 до 3000 м. Именно в указанном диапазоне глубин и образованы минеральные тела, состоящие из ЖК с примесью рудных минералов, кварцевые агрегаты которых изучены методом ИК спектроскопии МНПВО. Все ИК-спектры МНПВО исследованных образцов обнаруживают спектр α-кварца [3]. В предлагаемом исследовании изучим дублет при 775...802 см<sup>-1</sup>, наличием которого определяется кристаллическая фаза α-кварца. «Среднее» положение по спектру, средняя интенсивность, отсутствие суперпозиции других полос и большая чувствительность Si-O-Si колебаний к структурным изменениям явились причиной использования дублета для получения полуколичественного критерия оценки кристалличности кварца по формуле [5]:

$$K_i = 10f \frac{a}{b}$$

где  $f$  – коэффициент пропорциональности для эталонного кварца ( $f=2,8$ ),  $\frac{a}{b}$  – отношение величины слабого пика 775 см<sup>-1</sup> коротковолновому плечу (рис.).

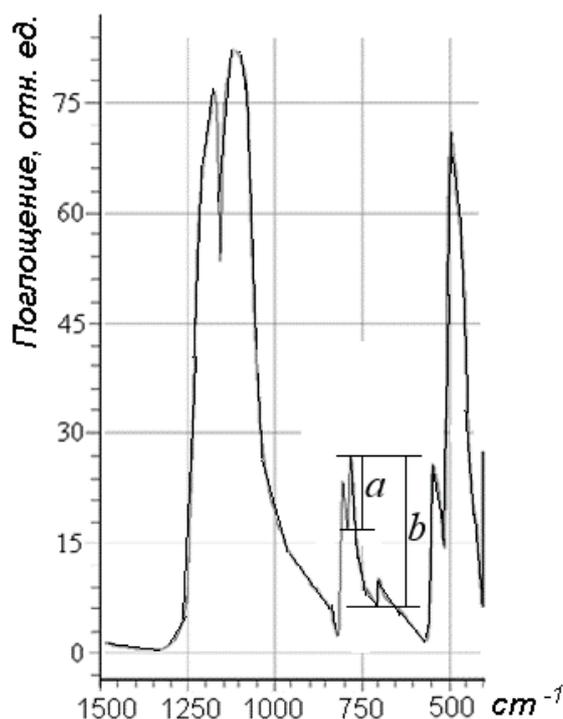


Рисунок. Типичный ИК-спектр МНПВО жильного кварца

В таблице приведены усредненные полученные данные значения индекса кристалличности исследуемых групп жильного кварца и принадлежность к рудным формациям. Видно, что в рассматриваемом ряду соотношений рудных формаций и индекса кристалличности, обусловленным уменьшением скорости кристаллизации с возрастанием глубины образования агрегатов жильного кварца, значение  $K_1$  возрастает.

Таблица. Значение индекса кристалличности жильного кварца

Месторождение и его часть	Рудная формация	$K_1$ , 785 $\text{cm}^{-1}$
Зун-Торей	Миндалина в кровле вулканитов	5,87
Дунда-Ага	Миндалина в 90 м от вершины палеовулкана	7,93
Тасеевское, верх	Малоглубинная золотосеребряная	9,4
Тасеевское, рудная зона	То же	11,2
Балейское	То же	11,8
Любавинское	Золото-кварцевая	12,53
Средне-Галготайское	Золото-сульфидно-кварцевая	12,75
Шахтаминское	Золото-медно-молибден-порфировое	13,12
Шерловая Гора	Олово-полиметаллическое	14
Садон	Полиметаллическое	14,3

### Выводы

Выявлена связь индекса кристалличности с глубиной образования агрегатов жильного кварца. Метод ИК-спектроскопии МНПВО может быть использован для получения информации об особенностях агрегатов жильного кварца с целью определения их принадлежности к рудным месторождениям различных формаций.

*Работа выполнена в рамках Госзадания № FUFР-2021-0005.*

### Библиографический список

1. Золотарев В.М., Первеева А.Ф. Спектроскопия МНПВО – высокочувствительный метод изучения адсорбированного состояния молекул // Докл. АН СССР. 1972, т. 204, №4. С. 903 – 907.
2. Веттергрень В.И., Куксенко К.Н., Чмель А.А. Наблюдение с помощью НПВО приповерхностных искажений структуры аморфного кварца // Физика твердого тела. 1975, т.17, вып.4. С. 1158 – 1162.

3. Юргенсон Г.А., Миронова Е.В. ИК-спектроскопия многократно нарушенного полного внутреннего отражения как способ изучения типоморфизма минералов кремнезема месторождений золота // Журнал прикладной спектроскопии. 2024, вып. 91(6). С. 821-825.
4. Коровкин М.В., Ананьева Л.Г., Анциферова А.А. Оценка степени преобразования кварцитов методом инфракрасной спектроскопии // Известия Томского политехнического университета. 2012, т. 320, № 16–18. С. 16–18.
5. Плюснина И. И. Исследование структурной неупорядоченности халцедонов методом инфракрасной спектроскопии // Докл. АН СССР. 1978, т. 240, номер 4. С. 839–842.

## О полигенности золотого рудогенеза Гиссаро-Алая (Южный Тянь-Шань)

Ниёзов А.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальная академия наук Таджикистана, aniyozov@bk.ru

<sup>2</sup>Таджикский национальный университет

**Аннотация.** Месторождения золота Гиссаро-Алая сформированы в различных геодинамических условиях, преимущественно в аккреционно-коллизивной геодинамической обстановке. Полигенность золотого рудогенеза обусловлена вовлечением разных уровней коры и мантии на соответствующих стадиях геодинамической эволюции региона.

**Ключевые слова:** Гиссаро-Алай, золотое оруденение, источник, полигенность.

## About polygenesis of gold ore deposits of Gissaro-Alay

Niyozov A.S.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Academy of science of Tajikistan, aniyozov@bk.ru

<sup>2</sup>Tajik National university

**Abstract.** The gold deposits of the Gissaro-Alay region were formed under various geodynamic conditions, primarily in an accretion-collisional geodynamic settings. The polygenicity of gold ore genesis is associated with the involvement of different levels of the crust and mantle at different stages of the geodynamic evolution of the region.

**Keywords:** Gissaro-Alay, gold mineralization, source, polygenicity.

Золото является профилирующим элементом металлогении Гиссаро-Алая. Наиболее крупные месторождения золота связаны с аккреционно-коллизивными гранитоидами позднего карбона – ранней перми. Если в западной части региона такая связь очевидна, то на востоке такая модель встречает ряд противоречий, такие как отсутствие или слабое развитие интрузивного магматизма, четкий структурный контроль, отличная картина корреляционных связей и пр.

Последние десятилетия пересматриваются существующие представления, выдвигаются новые гипотезы. Высока вероятность развития золоторудного оруденения в связи с процессами регионального метаморфизма. Такой подход резко расширяет перспективы золотоносности Гиссаро-Алая, позволяет выделить новые площади для поисков.

В глобальном масштабе в мезоархее был крупнейший период формирования месторождений золота. Затем последовали другие периоды активного формирования месторождений золота, особенно в неархее, палеопротерозое и палеозое, в то время как многочисленные и разнообразные типы месторождений золота были сформированы в кайнозойскую эру. Широкое разнообразие геодинамических условий, в которых сформировались месторождения золота, объясняется, в то время как благоприятные [2].

Геодинамические условия формирования, также как и механизмы образования месторождений золота Гиссаро-Алая, разнообразны [1]. Месторождения золота региона сформированы в самых различных геодинамических условиях, а каждый тип месторождений формируется в специфических условиях и соответствует обстановкам, благоприятным для его образования.

В первую очередь нами в качестве источника выделяются рифей-вендские (?) метаосадочные и метавулканические породы в составе известной в регионе как ягнобской серии.

Предположение, что осадочные породы, особенно углеродистые и сульфидные аргиллитовые или сланцеватые толщи, были преимущественно важными источниками золотоносных метаморфических флюидов, господствовало в литературе долгое время. Известен классический пример [3], где осадочный пирит в различных обломочных породах формации Мегума (Новая Шотландия, Канада) считается вероятным источником золота и других металлов в золоторудных месторождениях региона.

Популярны также идеи о том, что черные углеродистые метаосадочные породы с типично высоким содержанием пирита и, соответственно, высокой концентрацией золота в породе

(несколько мг/т) являются необходимым источником для образования крупных месторождений золота в метаосадочных или метавулканических толщах пород [2].

Наиболее распространенная гипотеза предполагает метаморфическую модель (метаосадочные породы) наиболее приемлемой. Допускается также, что пиритоносная толща в турбидитах с большой вероятностью может быть прихвачена летучими веществами с образованием значительного количества серы и золота для образования руд. При этом ключевыми параметрами являются метаморфические фазовые изменения и селективная способность флюидов.

Отдельные исследователи фанерозойских орогенных золоторудных провинций утверждают, что вулканические породы, залегающие внутри или вне толщ осадочных пород являются источником металла. Изучение среднепалеозойских золоторудных месторождений Викторианской провинции установило, что погребенные среднекоревые кембрийские вулканические породы и, возможно, в связи с осадочными породами, служили вероятным источником металла в крупных месторождениях [4]. Уместно отметить, что океанические вулканические породы с повышенным содержанием золота необходимы для формирования гигантских орогенных месторождений золота, при котором большие объемы  $\text{CO}_2$  в рудных флюидах поступают из метаморфизованных серпентинизированных ультраосновных и богатых карбонатами основных пород в зеленокаменных поясах или аккретированных океанических террейнах.

В то же время известно, что ограниченный объем вулканических пород во многих фанерозойских провинциях, а также значительное количество флюидов, серы и металлов, которые могут образовываться из мощных толщ метаосадочных пород, указывают на вероятное их участие в золотом рудообразовании. Однако, ограниченный объем вулканитов не препятствует генерации позволяет месторождений золота (например, метабазалты в сланцах Новой Зеландии сильно обогащены золотом (до 13 мг/т), но скопление рудных его концентраций в регионе не известны [3]).

Аналогичным образом метабазальтовые породы на Южном острове Новой Зеландии хотя и выделяют значительное количество золота при прогрессирующем метаморфизме, однако содержания мышьяка в метаморфических флюидах не значителен. Вероятно, с увеличением степени метаморфизма рост содержания мышьяка в метаморфитах не происходит, что лишает золота важного рудоаккумулирующего спутника [2].

Таким образом, нам представляется, что модель, допускающая участие метаморфических флюидов в транспортировании металлов, вероятно, наиболее аргументированно объясняет механизм образования золоторудных месторождений.

Метаморфизм как важный и главный параметр в метаморфогенной модели генезиса золота, признан давно. Он может быть следствием различных геодинамических процессов. Например, Goldfarb R. и др. [4] показали, что утолщение земной коры, субдукция и спрединг – растяжение плиты на позднемезозойской стадии эволюции Аляски могли привести к региональному метаморфизму. На фоне подобных механизмов, широкое развитие контактового метаморфизма, вызванное внедрением гранитоидной магмы, может привести к масштабной дегазации и образованию рудных концентраций золота (например, в палеозойском террейне Мегума [3]).

Существует очевидная ассоциация месторождений золота с зеленосланцевыми поясами [2]. При этом следует подчеркнуть, что в крупных областях зеленосланцевых фаций в зеленокаменных поясах часто преобладают метавулканические породы. Это может указывать на заметное влияние плюмовой активности на рост метаморфических градиентов в более древних сегментах земной коры [5].

Идея об общем флюидно-металлическом источнике месторождений при метаморфизме, вопреки кажущейся стройной логичности, имеет ряд недостатков. Так, совместное развитие флюидов, золото- и серосодержащих соединений в цепи зеленосланцевый–амфиболитовый метаморфизм супракрустальных толщ в фанерозойских золоторудных провинциях объясняется вполне логично, ибо золоторудные провинции приурочены к аккреционным

террейнам из осадочно-метаморфических пород, – часто амфиболитовой фации. Идея подкрепляется и поведением элементов (золото, металлы–спутники, летучие компоненты), деплетированных в низах коры при проградном метаморфизме.

Метаморфогенная модель орогенного образования золоторудной минерализации может объяснить многие особенности золоторудных месторождений, при котором рудообразующие метаморфические флюиды могут формироваться как в коре, так и у основания сейсмогенной зоны, а затем проникать в ослабленные зоны, например, глубинные разломы, и перемещаться вверх.

Формирование некоторых орогенных месторождений по другой, отличной, модели, заставляет полагать, что не всегда прогрессивный метаморфизм супракрустальных комплексов генерирует флюиды с высокими содержаниями золота, и поэтому следует искать источники флюида (например, подкоровые) и золота (и его спутников).

Предположение Goldfarb R. и Santosh M. [5] о подкоровом источнике рудообразующего флюида крупного месторождений золота Цзяодунг (Jiaodong) в Китае строится на идее о том, что флюиды, выделяющиеся при прогрессивном метаморфизме океанической литосферы и/или вышележащих океанических комплексов, были насыщены золото- и сероносными соединениями.

Полагаются и некоторые другие подкоровые источники. Если рудообразующие флюиды и металлы, высвобождаемые при подкоровой дегазации плит, представляют собой более популярная модель, то известны модели: жидкость выделяется из богатой золотом магмы, выплавленной из богатой золотом субконтинентальной литосферы, подъем мантийных магм и плавление нижней коры высвобождает металл, мантийные плюмы могут быть рудоформирующим агентом и др.

Итак, наиболее вероятным механизмом генезиса орогенных месторождений золота является сочетание (на завершающей стадии субдукции) дегазации океанической коры, углеродистых сульфидных отложений, обогащенного золотом пирита. При этом фактором могут выступить: утолщение земной коры, коллизия, субдукция спредингового хребта, плюмы, термический ореол магматической провинции и др. Можно полагать, что золотообразующий флюид может образовываться в преддуговых или задуговых областях или в подкоровых структурах, когда флюид может проникать в транскоровую структуру, а золото со спутниками и летучими компонентами ремобилизуются в ослабленные зоны. Подкоровый рудоносный флюид может мигрировать как вверх, так и по латерали. При таком предположении решается проблема пространства.

Золоторудные месторождения Гиссаро-Алая развиты в различных геодинамических обстановках:

- островодужной,
- на активных окраинах континентов (Таджикского и Казахско-Кыргызского),
- аккреционно-коллизионной,
- в других структурах.

Вместе с тем анализ размещения золоторудных месторождений на основе имеющихся палеорекопструкций показывает отсутствие (не обнаружение) золоторудных месторождений на пассивных окраинах (Туркестано-Зеравшанская геоструктурная зона), в областях рифтовых зон (палеорифты раннего палеозоя Гиссаро-Алая).

Золоторудные месторождения активных окраин континентов могут быть представлены всеми известными промышленно-генетическими типами месторождений (кроме типичных островодужных).

Ближе к океану или к краевой части коллидирующих окраин континентов могут быть приурочены как гипотермальные и мезотермальные жильные (в ассоциации с медью и полиметаллами), так и гидротермально-вулканогенные золоторудные и золото-серебряные месторождения с теллуридами в андезитовых и базальтовых вулканитах.

Золоторудные месторождения в островодужных обстановках Гиссаро-Алая представлены преимущественно среднетемпературными кварцево-жильными типами, ассоциирующимися

с малыми интрузиями кварцево-монцодиоритового состава. В процессе становления островодужных формаций вмещающие ими месторождения подвергнуты тектоническим перестройкам, в результате чего часть месторождений по разломам или сопряженным с ним структурам может перемещена.

Перспективы золоторудного оруденения в Гиссаро-Алае связаны с метаморфогенной моделью как рабочей при расшифровке их генезиса. Золоторудные месторождения Гиссаро-Алая, вписываются в такую модель, поскольку:

1) золоторудные поля не выходят за пределами ареалов развития метатерригенных и метавулканических комплексов венда–риффея (разская, барзангинская и др. свиты,

2) метапороды венда–риффея характеризуются повышенной золотоносностью [1],

3) при контактовом термальном воздействия на метатерригенные и метавулканические породы происходит вынос золота из них,

4) петрохимически средневзвешенный состав венда–риффейского комплекса сходен с гранитоидами повышенной основности зеравшано-гиссарского комплекса  $C_{2-3}$ , с которыми парагенетически и пространственно связана значительная часть золоторудных месторождений Гиссаро-Алая.

Итак, в Гиссаро-Алая золоторудные месторождения сформированы в различных геодинамических условиях, соответственно этому имеют различные источники. Смена источников обусловлена вовлечением разных уровней коры и мантии на разных стадиях геодинамической эволюции региона. Вероятно, на некоторых месторождениях, имеется наложение разного оруденения с отличными источниками (Гиждарва, Восточная Дуоба).

#### **Библиографический список**

1. Ниёзов А.С. Геохимия золота и редких элементов в гранитоидах Центрального Таджикистана. Душанбе, Дониш. 2002.–138 с.

2. Щербаков Ю.Г. Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях. Москва: Наука, 1967. –268 с.

3. Boyle R.W. Mineralization processes in Archean greenstone and sedimentary beds//Geological Survey of Canada Paper. 1976. V.75. №.15. – P.568-581.

4. Goldfarb R.J., Phillips G.N., Nokleberg W.J., 1998. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim//Ore Geology Reviews, 1998. V.13. –P.185–218.

5. Groves D.I., Santosh M., Zhang L. A scale-integrated exploration model for orogenic gold deposits based on a mineral system approach // Geoscience Frontiers, 2020. V.11.-P.719–738.

### Геохимия и минералогия месторождения Гора Кварцевая

*А.М. Федоров<sup>1</sup>, А.И. Непомнящих<sup>1</sup>, Г.А. Юргенсон<sup>2</sup>, А.П. Жабоедов<sup>1</sup>, М.Д. Зимин<sup>1</sup>, З.И. Куликова<sup>1</sup>, В.А. Макрыгина<sup>1</sup>, О.И. Чачанагова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, 1а, Россия, sashaf@igc.irk.ru

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 672014, г. Чита, ул. Недорезова, 16А, Россия

**Аннотация.** Полученные первые данные о минеральном и изотопно-геохимическом составе кварца месторождения Гора Кварцевая в Забайкалье позволяют сделать заключение об общем магматогенном источнике вещества и отнести месторождение к силекситовому типу. В пробах кварца выявлены кислые плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, мусковит, биотит и гидроокислы железа, молибденитом и, возможно, молибдит, барит и пирит. Низкие содержания элементов могут говорить о низких содержаниях структурных примесей и, следовательно, высоких перспективах получения качественных кварцевых концентратов.

**Ключевые слова:** Кварц, Гора Кварцевая, минералогия, геохимия, флюидные включения, силексит.

### Geochemistry and mineralogy of the Quartz Mount deposit

*A.M. Fedorov<sup>1</sup>, A.I., Nepomnyashchikh<sup>1</sup>, G.A. Yurgenson<sup>2</sup>, A.P. Zhaboedov<sup>1</sup>, M.D. Zimin<sup>1</sup>, Z.I. Kulikova<sup>1</sup>, V.A. Makrygina<sup>1</sup>, O.I. Chachanagova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, Favorsky St, 1a, Russia.

<sup>2</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 672014, Chita, Nedorezova St., 16A, Russia.

**Abstract.** The first data obtained on the mineral and isotope-geochemical composition of quartz from the Quartz Mount deposit in Transbaikalia allow us to conclude on the general magmatic source of the substance and to classify the deposit as silicite. Acid plagioclases, potassium feldspars, muscovite, biotite and iron hydroxides, molybdenite and, possibly, molybdate, barite and pyrite were found in quartz samples. Low element contents may indicate low contents of lattice impurities and, consequently, high prospects for obtaining high-quality quartz concentrates.

**Key words:** quartz, Quartz Mount deposit, geochemistry, mineralogy fluid inclusions, silicite.

Начато исследование современными прецизионными методами наиболее значимого по ресурсам сырья (более 500 т.т. [1]) кварцевого объекта Забайкалья - месторождения Гора Кварцевая. Месторождение расположено в правом борту р. Баляга в 15 км к северо-западу от г. Петровск-Забайкальский Забайкальского края на юго-восточной оконечности Хараузского хребта в зоне его сближения с Заганским хребтом. Месторождение расположено в пределах юго-западной части Еравнинского террейна в поле развития мелкозернистых, среднезернистых и порфиридных гранитов Хамардабанского (Даурского по другим авторам) интрузивного комплекса.

Жила кварца представляет собой вытянутое в субмеридиональном направлении штокообразное тело длиной около 230 метров и шириной около 90 м. С восточной стороны жила имеет субвертикальный контакт, а с западной падение в западном направлении под углами 30-45°. Кроме основного тела с западной стороны отмечается еще несколько жил меньшего размера (от 0,5 до 8 метров по мощности), но с таким же падением. Контакт кварцевой жилы с вмещающими гранитами четкий, контрастный, но неровный.

Кварц жилы преимущественно слабопрозрачный, сливной, мутноватый, от серого до молочно-белого цвета. Практически во всех образцах наблюдается система пересекающихся залеченных трещин белого цвета. Отдельные зерна кварца наблюдаются редко, хотя иногда в кавернах и крупных трещинах наблюдаются мелкие друзы и щетки чистого и прозрачного горного хрусталя. Часть поздних трещин покрыта корочкой оксидов железа. Наиболее часто встречающимися минеральными включениями является мусковит, реже полевые шпаты и биотит. В отдельных образцах отмечаются сульфиды в виде крупных (до нескольких мм) молибденита и мелкого пирита.

Петрографические исследования подтвердили гиганто-, крупнозернистую размерность кварца в агрегатах. Структура породы преимущественно неясно-блочная, блочная, гетерогранобластовая, угасание преимущественно облачно-мозаичное, что вызвано,

вероятно, постгенетическими динамическими процессами. Основной минеральной примесью в кварце жилы является серицит мусковитового состава. Реже встречаются мелкие зерна кислого плагиоклаза и микроклина, а также мелкие вкрапления рудного вещества. В виде единичных мелких зерен наблюдается циркон, апатит, топаз, хлорит. Отмечается большое количество флюидных включений связанных с системой трещин.

Исследования с помощью электронного микроскопа Tescan MIRA 3 LMN пробы кварца с самыми низкими содержаниями элементов-примесей показали развитие обычно по трещинам субмикронных включений сульфидов бария и железа, а также единичные зерна рутила, титанита, молибдита.

Содержания главных и редких элементов для кварца месторождения Гора Кварцевая могут сильно отличаться, но они прямо зависят от состава минеральных включений. Содержания алюминия, калия, натрия, кальция, железа и магния находятся в зависимости в первую очередь от содержания силикатных минералов таких как плагиоклазы, микроклин, мусковит и биотит. Повышенные содержания цезия в слюдах указывают на связь с пегматитами. Плагиоклазы подтверждаются повышенными содержаниями стронция, а полевые шпаты – рубидия. Спорадически повышенные содержания молибдена указывают на преимущественную мелкую вкрапленность рудного минерала в отдельных пробах. Изредка встречаются крупные кристаллы молибденита. Низкие содержания лития и фосфора, являющиеся главными компенсаторами структурных включений в кварце, могут говорить о высоких перспективах получения высококачественных кварцевых концентратов по этому показателю. Низкий уровень бора позволяет расширить область применения этого типа сырья и на солнечную энергетику.

Распределение редкоземельных элементов в пробах кварца месторождения Гора Кварцевая сходно, но отличается большим (на два порядка) разбросом значений что объясняется различными содержаниями минеральных примесей, содержащих эти элементы. Одна из проб характеризуется положительной европиевой аномалией при аномально высоком значении молибдена и связано, видимо, с накоплением этого элемента в молибдените. Большая часть проб характеризуются отрицательными европиевыми аномалиями, а три пробы отсутствием этой аномалии. Подобное явление можно объяснить несколько отличающимся минеральным составом проб кварца с преобладанием полевых шпатов или слюд.

По соотношению  $Al/50-Ti-Ge*10$  кварцы месторождения Гора Кварцевая группируются в поле пегматитов. Одна из проб содержат повышенное количество алюмосиликатных минералов и вследствие этого сильно сдвинута в область кварца из гранитов. Еще две пробы имеют повышенные содержания алюминия и титана в примесной минеральной фазе и, соответственно, имеют смещенное в сторону риолитового кварца положение на дискриминационной диаграмме.

Изотопные метки кислорода указывают на высокотемпературное магматогенное происхождение кварца жилы Гора Кварцевая. Некоторые корректировки изотопного состава могут объясняться поздней проработкой метеорными или эндогенными водами. Более точные данные по генетической принадлежности кварца жилы, влиянию поздних процессов и содержанию неизвлекаемых примесей будут получены после выполнения аналитических работ по кварцевым концентратам.

Проведены исследования флюидных включений в кварце месторождения Гора Кварцевая методом микротермометрии. Флюидные включения (ФВ) наблюдаются во всех исследованных образцах. В основном ФВ сосредоточены вдоль трещин и каналов в виде скоплений, редко наблюдаются единичные изолированные включения. Наиболее часто наблюдаются трёхфазные включения размером до 20 мкм предположительно состава  $H_2O-NaCl-CO_2$ , редко двухфазные размером до 10 мкм: чистый  $CO_2$  или состава  $H_2O-NaCl$  и неопределённого состава с наиболее высокой температурой гомогенизации размером до 4 мкм.

Были оценены параметры включений состава  $H_2O-NaCl-CO_2$ . Температура гомогенизации  $CO_2$  варьировалась от 31 до 31,7 °, для применения модели Steele-MacInnis M. [2] была использована максимально возможная для модели температура в 31,1°. Декрепитация включений начинается с температуры 280°, когда вскрываются наиболее крупные включения и активно происходит до 350°, при этом отдельные небольшие включения, размером менее 5 мкм гомогенизируются в жидкую фазу до 325°.

Параметры включений состава  $H_2O-NaCl$  были оценены только на основе двух измерений в образце № 1559. Для расчёта изохоры и давления была применена модель HokieFlincs\_ $H_2O-NaCl$  [3]. Декрепитация включений происходит при нагреве до 350°. При нагреве выше 350° наблюдалось два двухфазных включения размером до 4 мкм. с температурой гомогенизации в жидкость 353,4° и 361°, которые сохранялись при нагреве до 480° и одно аномальное включений размером около 8 мкм. с температурой гомогенизации в газ при 470 °. При предположении, что высокотемпературные включения до 4 мкм были захвачены одновременно с включениями состава  $H_2O-NaCl-CO_2$ , минимальные условия захвата включений оцениваются в  $357,2 \pm 5^\circ$  и  $2 \pm 0,1$  кбар.

### **Заключение**

Полученные первые данные о минеральном и изотопно-геохимическом составе кварца месторождения Гора Кварцевая в Забайкалье позволяют сделать заключение об общем магматогенном источнике вещества для всех проб кварца. В пробах кварца выявлены такие минералы как кислые плагиоклазы, калиевые полевые шпаты, мусковит, биотит и гидроокислы железа. Рудные минералы представлены молибденитом и, возможно, молибдитом, баритом и пиритом. Жила подверглась хрупким деформациям с последующим залечиванием трещин. Низкие содержания лития, фосфора и германия могут говорить о низких содержаниях структурных примесей и, следовательно, высоких перспективах получения качественных кварцевых концентратов. Полученные данные позволяют отнести месторождение Гора Кварцевая к силекситовому типу.

*Исследования выполнены на базе Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН в рамках государственного задания по Проекту № 0284-2021-0004 (ИГХ СО РАН), а также государственного задания по теме № FUFР-2021-0005 (ИПРЭК СО РАН).*

### **Библиографический список**

1. Демьянова Л.П., Мельников А.В., Юргенсон Г.А., Федоров А.М. Кварцевое сырье Байкало-Амурского региона и рекомендации фторидного способа его переработки // Тихоокеанская геология. - 2013.- т. 32, № 5.- С. 110-116.
2. Steele-MacInnis M. Fluid inclusions in the system  $H_2O-NaCl-CO_2$ : An algorithm to determine composition, density and isochore // Chemical Geology. – 2018. – Т. 498. – С. 31-44.
3. Steele-MacInnis M., Lecumberri-Sanchez P., Bodnar R. J. HokieFlincs\_ $H_2O-NaCl$ : A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of  $H_2O-NaCl$  // Computers & Geosciences. – 2012. – Т. 49. – С. 334-337.

УДК 549.3, 549.2

## Особенности вещественного состава руд Албазинского золоторудного месторождения (Дальний Восток)

*Чупрова А.А., Рампилов М.О.*

Геологический институт им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, acuprova081@gmail.com

**Аннотация.** Рудовмещающими породами Албазинского золоторудного месторождения являются березиты, песчаники и алевро-песчаники, дациты, кремнисто-глинистые породы, гранодиориты-гранит-порфиры. Количество сульфидов в рудах 2-6%, они представлены пиритом, арсенопиритом, реже галенитом, сфалеритом. Самородное золото встречается в виде субмикроскопических ксеноморфных выделений в тесной ассоциации с арсенопиритом. Также золото выполняет трещины в пирите и арсенопирите.

**Ключевые слова:** золоторудные месторождения, самородное золото, минеральный состав

## Mineral composition of ores from the Albazinsky gold deposit (Far East)

*Chuprova A.A., Rampilov M.O.*

Dobretsov Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia, acuprova081@gmail.com

**Abstract.** The ore-bearing rocks of the Albazinsky gold deposit are beresites, sandstones and siltstones, dacites, siliceous-clayey rocks, granodiorites-granite-porphyry. The amount of sulfides in the ores is 2-6%, they are represented by pyrite, arsenopyrite, less often galena, sphalerite. Native gold occurs in the form of submicroscopic xenomorphic segregations in close association with arsenopyrite. Gold also fills cracks in pyrite and arsenopyrite.

**Keywords:** Gold ore deposits, native gold, mineral composition

Золоторудное месторождение Албазино находится на левобережье р. Амгунь, в центральной части района им. Полины Осипенко Хабаровского края, в междуречье Амгунь-Сомня. Месторождение локализовано в приосевой части Омальского горст-антиклинория, связано с глубокоэродированной палеокальдерной вулканоструктурой и находится на уровне ее корневых частей (Ханчук и др, 1999), что послужило благоприятными условиями для формирования оруденения. В настоящее время активно разрабатывается АО «Полиметалл УК».

Район Албазинского месторождения принадлежит к Амгуньскому террейну и входит в Нижнеамурскую складчатую зону, сформировавшуюся в мезозое в результате аккреации юрских окраинно-континентальных шельфовых и турбидитовых комплексов к Северо-Азиатскому кратону и Монголо-Охотскому поясу (Ханчук и др, 1999). Албазинское рудное поле приурочено к западной части палеовулканоструктуры, предположительно (Трушин и др, 2018) глубокоэродированной кальдере-просадке компенсационного типа.

Магматические породы широко распространены в пределах Албазинского рудного поля. Вулканические встречаются в покровной фации (спилиты юрского возраста); в субвулканической и дайковой фациях (гранодиоритовая, гранитная и диоритовая серии, палеогеновые дайки базальтов). На периферии структуры встречаются вулканические породы покровной фации – оливиновые базальты верхнего мела – палеогена и туфы андезитов.

Дайковые тела разнообразного состава распространены особенно значительно и образуют пояс, который в пределах рудного поля имеет ширину около 5 км. Пояс контролируется Албазинской зоной разломов, прослежен на север на расстояние около 50 км при ширине 1 – 2,5 км.

Интрузивные тела обычно невелики (до 4-5 км<sup>2</sup>), принадлежат к субвулканической фации, характеризуются лакколито- или лополитообразной формой.

Гидротермальные изменения в пределах рудного поля проявлялись широко на площади около 10 км<sup>2</sup> с развивающимися по породам всех типов метасоматитами аргиллизитовой, пропилитовой и березитовой формаций.

Березиты относятся к основным околорудным изменениям и характеризуются типоморфным минеральным парагенезисом (серицит, кварц, хлорит, карбонат, пирит). Они

образуют вытянутый в северо-западном направлении ореол протяженностью более 3 км, приуроченный к Албазинской системе разломов.

Дорудные метасоматические изменения пород представлены широко и относятся к березитам, аргиллизитам и пропицитам. Степень изменений пород новообразованными ассоциациями варьирует от 5-10% до 70-80%. Наиболее распространены золотоносные березиты, которые сложены парагенезисом: серицит - карбонат (кальцит, доломит, анкерит) - пирит. По данным рентгенофлуоресцентного анализа, среднее содержание золота в березитах составляет 0,085 г/т.

Рудная стадия выражена сульфидами и кварцево-жильными образованиями. Они образуют скопления в виде гнезд и прожилков, которые во многих случаях не сопровождаются дорудными метасоматитами. В относительно мощных прожилках (2-3 мм, реже до 1-2 см) наблюдается отчетливая зональность: вмещающая порода (березит) – сульфиды (преимущественно пирит) – кварц (с включениями арсенопирита). Кварц в прожилках представлен несколькими генерациями и разновидностями (зернистый, друзовидный, халцедоновидный).

Золоторудная минерализация локализуется, как правило, в крутопадающих разломах, осложняющих северо-западное крыло Омельдинской антиклинали. Рудовмещающими наиболее часто оказываются (в порядке убывания) березиты, песчаники и алевропесчаники, дациты, кремнисто-глинистые породы, гранодиориты, гранит-порфиры (Масленников и др., 2011). По данным предыдущих исследований месторождение относится к золото-редкометалльному типу (Кемкина и др., 2018).

В зонах разрывных нарушений породы месторождения разбиты многочисленными трещинами с кулисообразными и сетчатыми прожилками кварцевого, кварц-карбонатного состава с участием серицита и сульфидов. Сульфидная минерализация отмечается по массе и в прожилках. Количество сульфидов в рудах 2-6%, они представлены пиритом, арсенопиритом, реже галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами.

**Пирит** является наиболее распространённым сульфидным минералом в рудах месторождения. Встречается в виде прожилков и одиночных кристаллов и представлен несколькими генерациями. Пирит первой генерации слагает идиоморфные кристаллы, равномерно распределенные по кварцевой массе. Другая генерация представлена зернами неправильной формы, часто окруженными агрегатом арсенопирита. В качестве примесей в пирите были обнаружены Co до 1 мас. %; Ni до 0,5 мас. %; As до 2 мас. %; Sb до 1,5 мас. %.

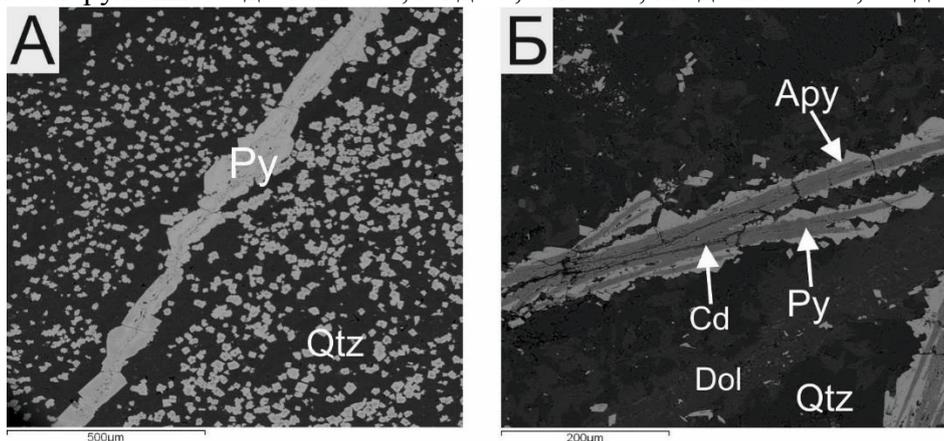


Рисунок 1. Морфология пирита в рудах Албазинского месторождения. А – прожилок пирита (Py) с оторочкой арсенопирита (Apy); Б – прожилок скрытокристаллических агрегатов и идиоморфные кристаллы пирита (Py).

**Арсенопирит** наблюдается в виде мономинеральных выделений в массе нерудных минералов, также часто встречается в ассоциации с пиритом, образует оторочки вокруг ксеноморфных агрегатов пирита, часто прожилковые. Среди зерен арсенопирита наблюдается субмикроскопическая золотая минерализация. В арсенопирите установлены элементы-примеси Co до 0,7 мас. %; Sb до 1 мас. %; Ni до 0,5 мас. %.

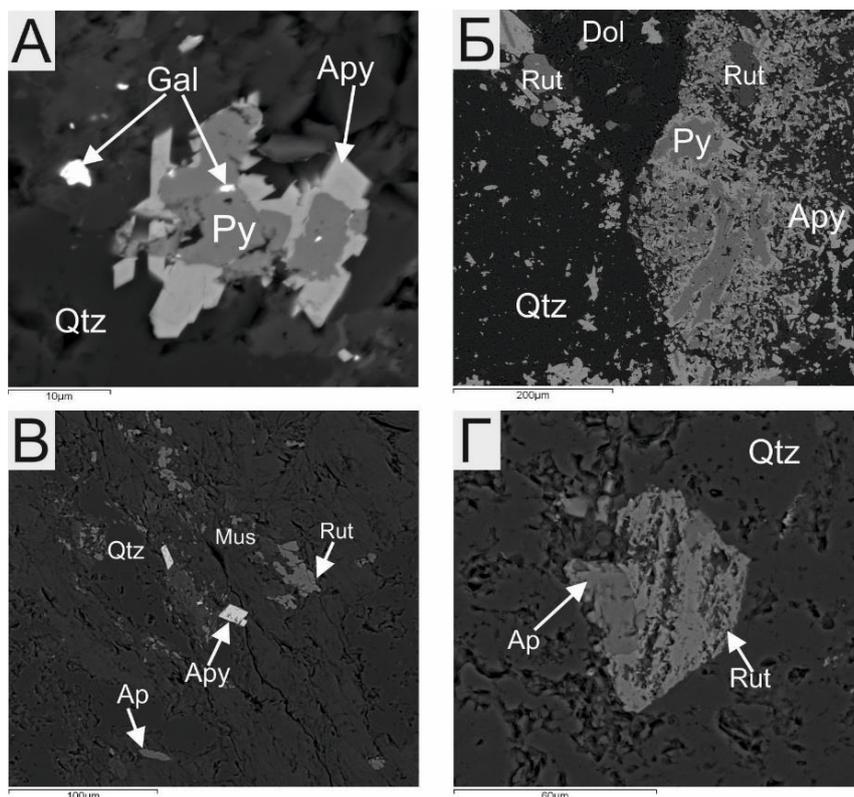


Рисунок 2. Морфология арсенопирита (Apy) в рудах Албазинского месторождения. А – пирит (Py) с оторочкой арсенопирита; Б – прожилковый пирит с оторочками арсенопирита; В – столбчатые кристаллы арсенопирита в кварцевой (Qtz) массе; Г – ассоциация рутила (Rut) и апатита (Ap)

**Галенит** встречается в ассоциации с арсенопиритом, пиритом, сидеритом и в виде мономинеральных гнездообразных скоплений в кварце. Размер зерен галенита до 7 мкм (см. рис. 2 Б).

**Сфалерит** ассоциирует с пиритом. Встречается в виде ксеноморфных выделений, заполняющих трещины в пирите, также в виде округлых включений или в сростании с пиритом (рис. 2 А).

**Рутил** слагает мелкие (до 60 мкм) зерна неправильной формы, ассоциирует с апатитом, а также обнаружен в виде включений в кварце совместно с пиритом и другими сульфидами (см рис 2 Г).

**Тетраэдрит** был встречен в микроскопической форме (до 10 мкм) в виде включений в кристаллах пирита и сфалерита.

**Апатит** образует одиночные кристаллы и зерна неправильной формы, а также сростки с рутилом. По химическому составу относится к фторапатиту (содержание F до 5 мас. %). Примесей других элементов не установлено.

**Барит** как правило слагает мелкую (до 5 мкм) рассеянную вкрапленность в кварцевых прожилках.

**Монацит-Се** обнаружен в поздних карбонатных (доломит) прожилках, секущих кварцевую массу. Он представлен зернами неправильной формы размером до 10 мкм. Минерал гидратирован, содержание суммы РЗЭ до 57 мас. %  $TR_2O_3$ .

**Самородное золото** встречается в виде субмикроскопических ксеноморфных выделений в арсенопирите. Также золото выполняет трещины в пирите и арсенопирите (рис. 3). Содержание Ag в золотилах 35-54 мас. %, Au 45 – 75 мас. %, поэтому большую часть обнаруженных золотилов можно отнести к электруму. Примесей других элементов не обнаружено.

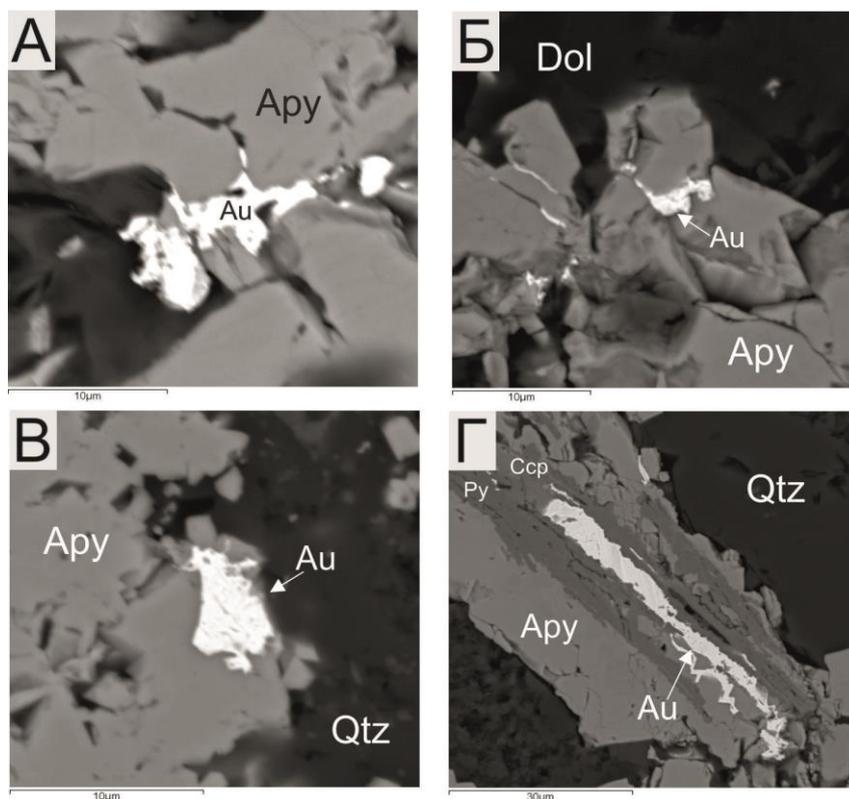


Рисунок 3. Характер выделений самородного золота (Au).

Большая часть видимых микроскопических или субмикроскопических частиц золота находится в самородной форме в тесной ассоциации с арсенопиритом, однако, были обнаружены золотины, выполняющие интерстиции в агрегатах пирита. Золото, связанное с арсенопиритом, зачастую имеет округлую форму, встречается в виде включений в минерале, в сростании с ним или выполняет трещины в зернах арсенопирита. Размер частиц золота от 5 до 30 мкм. Обнаруженное золото является низкопробным с содержанием Ag до 54 мас. %.

#### Библиографический список

1. Трушин С.И., Кириллов В.Е. Месторождение Албазино – новый для Дальнего Востока промышленный тип золотого оруденения // Региональная геология и металлогения, 2018, №3, с. 60-67.
2. Ханчук А.И., Иванов В.В. Мезо-кайнозойские геодинамические обстановки и золотое оруденение Дальнего Востока России // Геология и геофизика, 1999, т.40, №11, с.1635-1645
3. Кемкина Р.А., Кемкин И.В., Ханчук А.И., Иванов В.В. Первая находка минералов редкометалльных элементов на Албазинском золоторудном месторождении // Доклады Академии наук, 2018, том 481, № 3, с. 300–304.

## О сульфидах в сподумене Завитинского месторождения

Г.А.Юргенсон<sup>1</sup>, Е.А.Хромова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, e-mail: yurgga@mail.ru

<sup>2</sup>Геологический институт им. Н.Л.Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, e-mail:

[lena.khromova.00@mail.ru](mailto:lana.khromova.00@mail.ru)

**Аннотация.** В кристалле сподумена Завитинского месторождения литиеносных пегматитов обнаружены примеси халькопирита, сфалерита, пиритом и пирротина. В халькопирите обнаружены примеси цинка в количестве 3,98 – 6,62%. Его формула в общем виде представлена как (Cu,Zn)(Fe,Zn)S<sub>2</sub>.

**Ключевые слова:** Сподумен, халькопирит, сфалерит, пирит, пирротин, цинкистый халькопирит, Завитинское месторождение, Забайкалье.

## On sulfides in the Spodumene of the Zavitin deposit

G.A. Yurgenson<sup>1</sup>, E.A. Chromova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, e-mail: yurgga@mail.ru

<sup>2</sup>Geological Institute named after N.L. Dobretsov, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia, e-mail: [lena.khromova.00@mail.ru](mailto:lana.khromova.00@mail.ru)

**Abstract.** In the spodumene crystal from the Zavitinskoye deposit of lithium-bearing pegmatites, impurities of chalcopyrite, sphalerite, pyrite, and pyrrhotite have been found. Zinc impurities in chalcopyrite range from 3.98 to 6.62%. Its general formula is presented as (Cu, Zn)(Fe, Zn)S<sub>2</sub>.

**Keywords:** Spodumene, chalcopyrite, sphalerite, pyrite, pyrrhotite, zinc-bearing chalcopyrite, Zavitinskoye deposit, Trans-Baikal region.

### Введение

В результате изучения Завитинского месторождения сподуменовых пегматитов в них обнаружены примеси не традиционных для пегматитов химических элементов (г/т): Pb (до 39,4), Ag (до 0,48), Cd (до 0,45), As (до 24), Bi (до 5,89), Te (до 0,11), а также сульфиды, в виде небольших прожилков и линзовидных тел и гнёзд. В них визуальными были диагностированы пирит, халькопирит, галенит и сфалерит, с которыми и связаны эти примеси. Опубликованных в открытой печати данных об этих наложенных на пегматиты сульфидах не встречалось. Изучение их планируется нами в ближайшем будущем, а в данной статье рассматриваются сульфиды, находящиеся в виде тончайших включений в сподумене из сподуменового пегматита, отобранного непосредственно из его продуктивной части в стенке карьера.

В связи с этим выполнено изучение одного из кристаллов сподумена электронно-микроскопическим методом с целью определения возможной зараженности его этими элементами.

**Материал и методы.** В полевой сезон 2019 года в соответствии с госзаданием по теме «Геохимия редких и редкоземельных элементов в природных и геотехногенных ландшафтах и гидрогеохимических системах» произведено опробование сподуменовых пегматитов Завитинского месторождения. Пробы отобраны из жил, вскрытых на стенках карьера, также со склада добытых относительно бедных руд. В них в участках, где развиты секущие мелкозернистые кварцево-полевошпатовые жилоподобные тела развиты прожилки существенно галенитового состава, содержащие сфалерит и пирит.

### Результаты исследований

В результате анализа образцов сподуменового пегматита в нём обнаружены относительно высокие содержания (г/т): свинца (до 39,4 при Кк до 2,32), серебра (до 0,48 при Кк до 9,1), кадмия (до 0,45 при Кк до 5), мышьяка (до 24 при Кк до 5,6), висмута (до 5,89 при Кк до 25,6), теллура (до 0,11 при Кк до 4,1), где Кк коэффициент концентрации по отношению к кларку, принятому по [2].

Изучен фрагмент кристалла сподумена бледно-зеленоватого цвета величиной 3x4 см. В нём в процессе электронно-микроскопического изучения обнаружены включения халькопирита, галенита, сфалерита, пирита и пирротина.

Химический состав сподумена приведен в табл.1. Содержание лития в нём (1,61 – 1,88 мас.%). В четырёх из измеренных точек установлено железо, замещающее алюминий, в количестве 0,38 – 0,78 мас.%. В одном индивидуе присутствует примесь натрия (0,28 мас.%), замещающего литий. Содержание лития лишь в одном случае близко к теоретическому его содержанию, а в остальных несколько ниже.

Таблица 1. Химический состав сподумена, содержащего включения сульфидов

Номер индивидуа	Элемент и его содержание, мас. %						Сумма, мас. %
	Li	Al	Si	O	Fe	Na	
1_1-3	1,88	15,15	31,79	48,03	0,52	Н.О.	97,37
1-2-3	1,87	15,06	32,02	49,39	0,78	Н.О.	99,12
4_1-2	1,61	15,81	33,21	48,06	0,62	0,28	99,39
6-1-1	1,87	15,57	33,00	46,58	0,38	Н.О.	99,86
6_1-2	1,86	15,5	32,76	49,2	0,52	Н.О.	99,84

Такие же данные для сподумена «из Сибири» [1, с. 23], что соответствует образцам Завитинского месторождения. В отличие от других образцов сподумена из этого месторождения [3], изученный нами сподумен не содержит калия, кальция, марганца, в количествах более 0,01 мас. %. Из табл.1 также видно, что во всех образцах присутствует железо в количестве от 0,38 до 0,78 мас.%, замещающее алюминий. Лишь в одном случае обнаружен натрий в количестве 0,28 мас.%. При этом примерно на эту величину меньше содержание лития, часть которого, видимо замещена натрием.

Электронно-микроскопическое изучение основного минерала лития сподумена Завитинского месторождения показало относительную стабильность его состава. Он содержит 1,88 – 1,89 % лития.

В нем в качестве минеральных примесей установлены: халькопирит, галенит, пирит, пирротин, скаполит. Наиболее интересен халькопирит. Он образует выделения неправильных форм (рис.1) величиной 55 x 150 микрон. Особенностью халькопирита Завитинского месторождения является его обогащённость цинком (таблица 2). Содержания

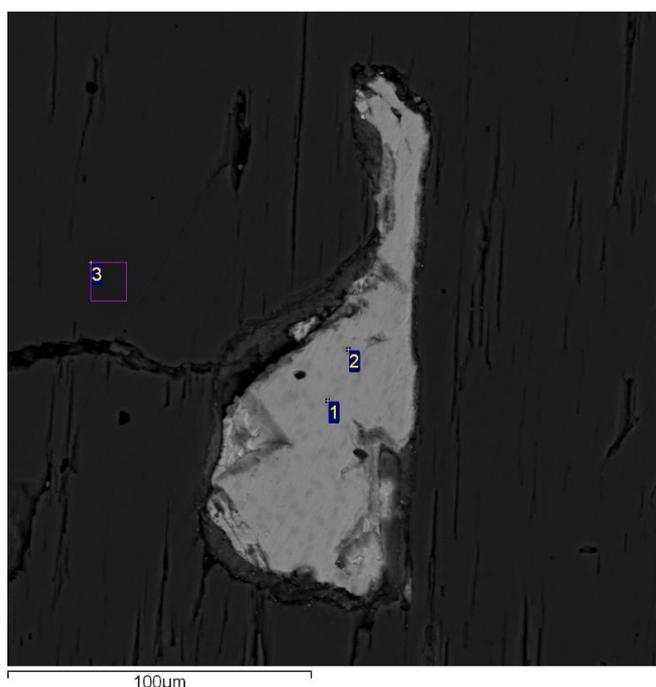


Рисунок 1. Неправильной формы включения халькопирита (1, 2) в сподумене (3). Обр. Зв-19/05. Электронно-микроскопический снимок.

его варьируют незначительно, находясь в пределах 3,98 – 6,62%. По литературным данным, цинк нетипичен для халькопирита. Судя по некоторому недостатку меди и железа, они могут замещаться цинком с образованием минерала с примерно такой общей формулой  $(\text{Cu, Zn})(\text{Fe, Zn})\text{S}_2$ , примеры каковой приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состав халькопирита Завитинского месторождения

Номер индивида		Элемент и его содержание, мас. %				Сумма	Формула
		Cu	Fe	Zn	S		
19-05-1	1	31,13	27,45	6,62	34,98	100,19	$((\text{Cu}_{0,92}\text{Zn}_{0,8})(\text{Fe}_{0,9}\text{Zn}_{0,11})_{1,09})_{\Sigma 1,99}\text{S}_{2,01}$
	2	31,07	27,4	6,61	34,92	100	
	3	0,9	0,9	0,19	2,01	4	
19-05-2	1	32,18	28,83	4,23	35,84	101,08	$((\text{Cu}_{0,94}\text{Zn}_{0,6})(\text{Fe}_{0,92}\text{Zn}_{0,06})_{0,98})_{\Sigma 1,98}\text{S}_{2,02}$
	2	31,84	28,52	4,18	33,29	100	
	3	0,92	0,94	0,12	2,02	4	
19-05-3	1	32,4	28,66	4,5	35,11	100,67	$((\text{Cu}_{0,93}\text{Zn}_{0,7})(\text{Fe}_{0,94}\text{Zn}_{0,06})_1)_{\Sigma 2,0}\text{S}_2$
	2	32,18	28,47	4,47	34,88	100	
	3	0,93	0,94	0,13	2	4	
19-05-4	1	33,69	29,98	3,98	35,05	101,89	$((\text{Cu}_{0,96}\text{Zn}_{0,4})(\text{Fe}_{0,95}\text{Zn}_{0,07})_{1,02})_{\Sigma 2,02}\text{S}_{1,98}$
	2	33,06	28,64	3,91	34,4	100	
	3	0,96	0,95	0,11	1,98	4	

Примечание: 1 – данные анализа, 2 – нормированные к 100 %, 3 – формульные коэффициенты

Однако действительное положение цинка в структуре халькопирита требует дальнейших исследований. Это тем более важно в связи с тем, что при большом увеличении на электронно-микроскопическом снимке выявилось неоднородное строение участка халькопирита, в котором находятся тесные сростки с ним сфалерита.

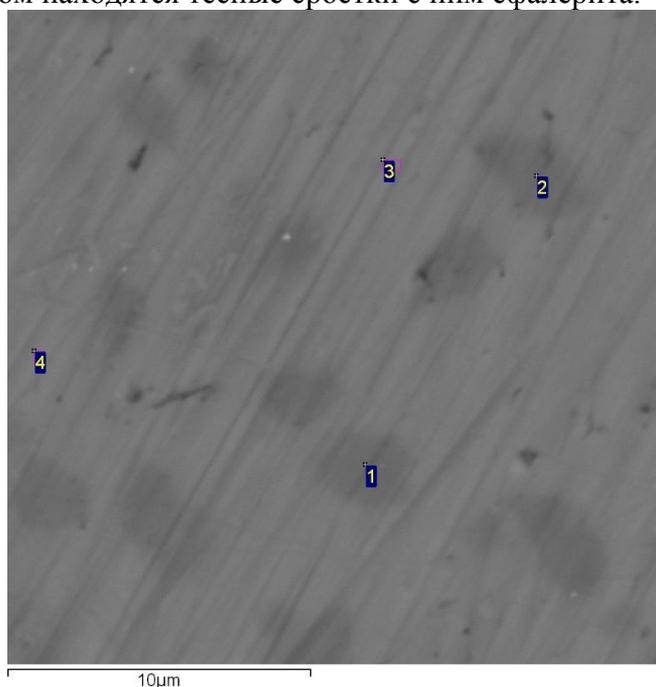


Рисунок 2. Халькопирит (1, 2) в сростках со сфалеритом (3, 4) в сподумене. Обр. Зв–19/5. Завитинское месторождение. Электронно-микроскопический снимок.

При этом кажется, что халькопирит (1, 2), содержащий цинк, как это видно на спектрах, находится в виде пятен величиной до 5 микрон в сфалерите (3, 4), содержащем 2,07 – 3,29 % железа, а сфалерит лишен меди (табл. 3). Её следов не видно даже на спектре.

Таблица 3. Химический состав сфалерита

Номер образца		Элемент и его содержание, мас.%			Сумма	Формула
		Zn	Fe	S		
3	1	63,06	2,29	33,36	98,72	$(\text{Zn}_{0,94}\text{Fe}_{0,04})_{0,98}\text{S}_{1,02}$
	2	63,88	2,32	33,38	100	
	3	0,94	0,04	1,02	2	
4	1	62,73	2,07	33,37	98,17	$(\text{Zn}_{0,94}\text{Fe}_{0,04})_{0,98}\text{S}_{1,02}$
	2	63,9	2,11	33,99	100	
	3	0,94	0,04	1,02	2	

Примечание: 1 – данные анализа, 2 – нормированные к 100 %, 3 – формульные коэффициенты

Пирит образует корродированные зерна в сподумене, частично гидратированном, величиной 10 x 33 мкм (рис. 3). Он встречен также в ассоциации с калиевым полевым шпатом и скаполитом. Этот индивид имеет форму пластины, в сечении 15 x 110 мкм.

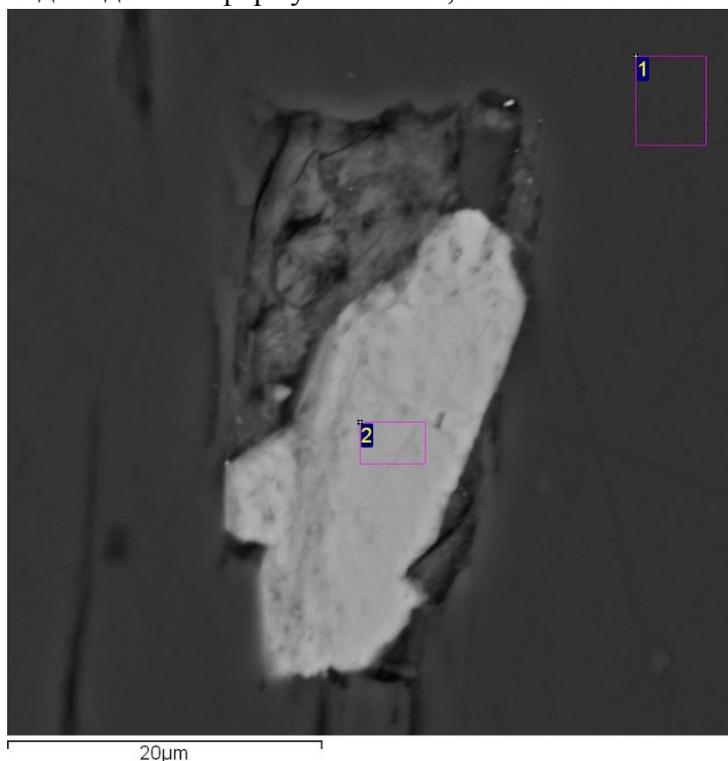


Рисунок 3. Пирит (2) в сподумене (1), слабо затронутом изменениями с переходом в циматолит.

Лишь в одном случае индивид пирита, находящийся в ассоциации с примесью хлорита в сподумене содержал мышьяк от 0,65 до 1,84%. В нём установлен избыток железа, типичный также и для пяти из семи измеренных индивидов (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав пирита

Номер индивида		Элемент и его содержание, мас.%			Сумма	Формула
		Fe	As	S		
2	1	46,5	Н.о	53,95	100,46	$\text{Fe}_{0,99}\text{S}_{2,01}$
	2	46,3		53,7	100	
	3	0,99		2,01	3	
3-1	1	47,14	Н.о	52,98	100,12	$\text{Fe}_{1,01}\text{S}_{1,99}$
	2	47,08		52,92	100	
	3	1,01		1,99	3	

4-1-5	1	47,62	1,9	53,92	103,43	$Fe_1As_{0,03}S_{1,97}$
	2	46,04	1,84	52,13	100	
	3	1	0,03	1,97		
4-1-6	1	46,43	0,65	52,59	99,67	$Fe_{1,01}As_{0,01}S_{1,98}$
	2	46,58	0,65	52,76	100	
	3	1,01	0,01	1,98	3	
5-1-2	1	46,11	Н.о.	50,8	96,92	$Fe_{1,03}S_{1,97}$
	2	47,58		52,42	100	
	3	1,03		1,97	3	
5-1-3	1	46,34	Н.о.	53,68	100,02	$Fe_{1,04}S_{1,96}$
	2	47,95		52,05	100	
	3	1,04		1,96	3	
	1	47,91	Н.о.	54,97	102,88	$Fe_{1,0}S_{2,0}$
	2	46,57		53,43	100	
	3	1		2	3	

Примечание: 1 – данные анализа, 2 – нормированные к 100 %, 3 – формульные коэффициенты

В сподумене отмечен также пирротин в ассоциации с альбитом (рис. 4).

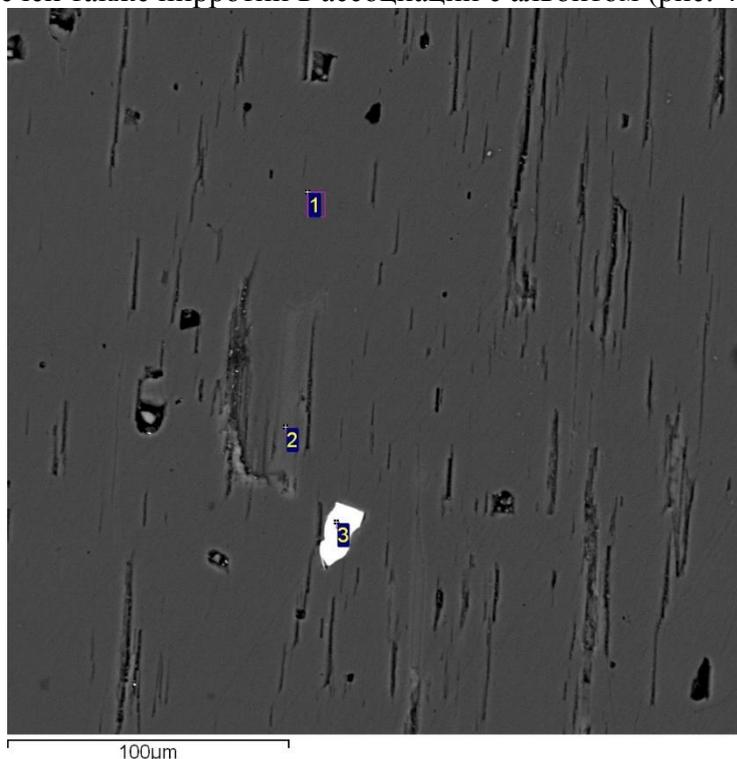


Рисунок 4. Включение пирротина (3) в сподумене (1) в ассоциации с альбитом (3). Образец Зв-19/05. Завитинское месторождение сподумена. Электронно-микроскопический снимок.

Форма включения пирротина с элементами огранки. Величина его 6x20 мкм. Химический состав пирротина (мас.%): Fe – 61,89; S – 38, 18. Формула –  $Fe_{7,23}S_{7,77}$ .

#### Выводы

1. В сподуменовом пегматите обнаружены примеси не традиционных для пегматитов химических элементов свинца, серебра, цинка, кадмия, меди, висмута, а также сульфиды, в виде небольших прожилков и линзовидных тел и гнёзд.

2. Сульфиды обнаружены также и непосредственно в сподумене. Они представлены халькопиритом, галенитом, сфалеритом, пирротинном и пиритом. В халькопирите обнаружены примеси цинка в количестве 3,98 – 6,62%. Его формула в общем виде представлена как  $(Cu,Zn)(Fe,Zn)S_2$ .

### **Библиографический список**

1. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т.П. Минералогия редких элементов. Гл. ред. К.А. Власов. – М.: Наука, 1964.– 830 с.
2. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. Ун-та. Сер.5. География. 2015. № 5. – с. 7 – 17.
3. Минералы. Т.Ш., Вып. 2. Гл. ред. Ф.В. Чухров. – М.: Наука, 1981. – 615 с.

УДК 553.41 (571.55)

**О некоторых закономерностях распределения полезных компонентов в месторождении Серебряное (Восточное Забайкалье)**

*Трубачев А.И., Намжилов Б.Б., Литвинцева О.В., Юг А.Ю., Друзжинина Ю.В.*  
ООО «Восток ГеоСервис Партнер», г. Чита

**Аннотация.** Установлен широкий разброс содержаний золота и серебра в основных типах горных пород месторождения: в алевролитах, гранодиоритах, доломитах, брекчиях. По глубине залегания руд выявлена тенденция увеличения содержаний у золота и падение у серебра; в корреляционных связях золота и серебра в разных типах пород отмечены тенденции как увеличения, так и уменьшения их содержаний.

**Ключевые слова:** Серебряное месторождение, горные породы, золото, серебро, глубины залегания, корреляция.

**On some patterns of distribution of useful components in the Silver deposit (Eastern Transbaikalia)**

*Trubachev A.I., Namzhilov B.B., Litvintseva O.V., Yug A.Yu., Druzhinina Y.V.*  
Vostok GeoService Partner LLC, Chita

**Annotation.** A wide range of gold and silver contents has been established in the main types of rocks of the deposit: siltstones, granodiorites, dolomites, and breccias. According to the depth of the ores, there is a tendency for the contents of gold to increase and silver to fall; in the correlations of gold and silver in different types of rocks, there are trends in both increasing and decreasing their contents.

**Key words:** Silver deposit, rocks, gold, silver, degree of occurrence, correlation.

По данным Ю.О. Редина и др. [1-3], Серебряное месторождение находится в Газимуро-Заводском районе Восточного Забайкалья, в 7 км. южнее Лугоканского месторождения в пределах Лугоканского рудного узла. Оно приурочено к узлу пересечения глубинного Северо-Солонечного разлома с разломами более низкого порядка (рис.1.) Площадь месторождения сложена регионально метаморфизованными алевролитами, аргиллитами, песчаниками и сланцами с прослоями известняков и доломитов яковлевской свиты девонского возраста ( $D_{2-3}$  jak). Магматизм в пределах месторождения проявлен в виде даек кислого и среднего состава (диорит-порфиры, гранодиориты, сиенит-монциты) шахтаминского комплекса с возрастом 154,6 млн. лет. Рудные тела мощностью от первых до десятков метров выявляются только по данным опробования. По минеральному составу в рудах месторождения выявлено 2 типа оруденения: а) арсенопирит-пирит-золотосодержащее и б) блеклорудно-галенит-сфалеритовое (с сульфосолями свинца и сурьмы) золото и серебросодержащее.

По результатам изучения в аккредитованных лабораториях ООО «Восток ГеоСервис Партнер» технологической пробы ЛТП CR-23-001, весом 694,5 кг и составленной из 175 частных проб (1/2 керн), отобранных на разных глубинах в скважинах №№ 2501, 2502, 2503, 2504, 2505, в рудах Серебряного месторождения содержатся: Au (1,41 г/т), Ag (27,17 г/т), Cu (0,032 %), As (1,16 %), Fe (5,22 %), Ti (0,37 %), Pb (0,14 %), Zn (0,07 %), Sb (0,08 %), однако промышленный интерес представляют только золото и серебро, о закономерностях распределения которых ниже и пойдет речь.

В пробах главными типами пород являются: алевролиты (76 %), гранодиориты (18,3 %), брекчии по алевролитам (4,6 %) и доломиты (1,1 %). Определение содержаний главных полезных компонентов (золото и серебро) в вышеназванных типах пород показало, что содержания их колеблются в широких пределах (табл. 1).

В основных типах пород месторождения – алевролитах, разброс содержаний золота находится в пределах 0,24-5,81 г/т (среднее 1,33), а серебра – от 0,2 до 328,4 г/т (среднее 20,88); в гранодиоритах – по золоту колебания составляют 0,55-4,23 г/т (среднее 1,53 г/т), по серебру от 0,2 до 27,5 г/т (среднее 5,41 г/т); по доломитам – содержания золота от 0,76 до 1,43 (среднее 1,1 г/т), по серебру – 1,4-4,1 г/т (среднее 2,75 г/т). Если в брекчиях (по алевролитам) разброс содержаний золота небольшой – 2,26-3,81 г/т (среднее 2,83 г/т), и он все-таки более повышенный, чем в других породах, то по серебру эта величина весьма

значительная: от 1,6 до 421,4 г/т (средняя 139,08 г/т). Повышенные содержания этих элементов в брекчиях объясняются привнесом их при последовавшем метасоматозе в зонах дробления.

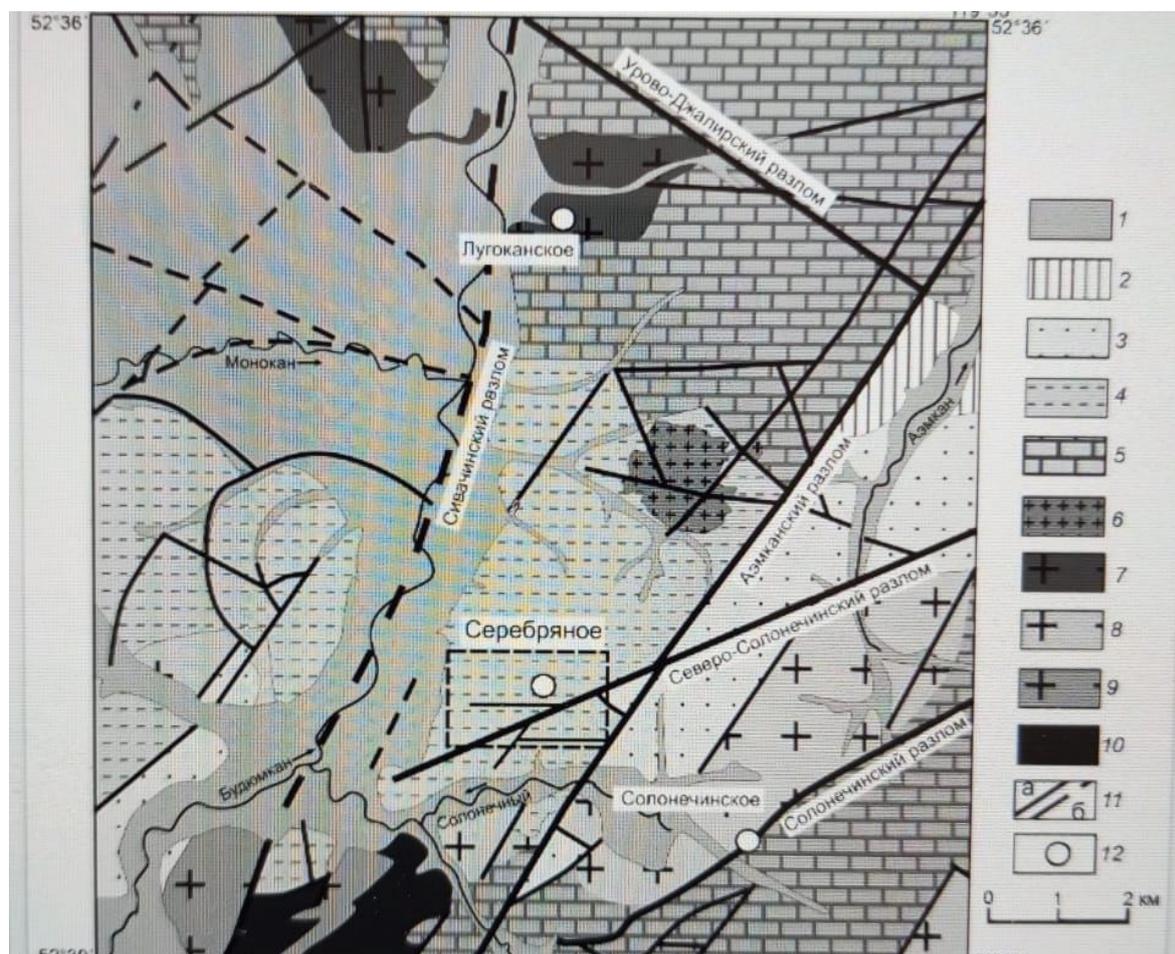


Рисунок 1. Геологическая карта Лугоканского рудного района [2] 1-четвертичные отложения; 2-тургинская свита (K1tr); 3-глушковская свита (J3 gl); 4-яковлевская свита (D2-3 jak); 5- быстринская свита (C1bs); 6- кукульбейский комплекс (J3r); 7-шахтаминский комплекс (J2-3 s); 8-10- ундинский комплекс (P1u); 8-граниты, 9-гранодиориты, 10-габбро; 11-разрывные нарушения; 12-месторождения

Таблица 1. Распределение содержаний золота и серебра (г/т) по типам пород в Серебряном месторождении (в числителе пределы содержаний, в знаменателе – средневзвешенное)

Типы пород	Число проб	Содержания золота	Содержания серебра
Алевролиты	133 (76 %)	0,24-5,81 /1,33	0,2-328,4/20,88
Брекчии	8 (4,6 %)	2,26-3,81/2,83	1,6-421,8/139,08
Гранодиориты	32 (18,3 %)	0,55-4,23/1,53	0,2-27,5/5,41
Доломиты	2 (1,1 %)	0,76-1,43 /1,1	1,4-4,1 /2,75
По месторождению	175 (100 %)	0,24-5,8 /1,41	0,2-421,8/27,17

Характер распределения средних содержаний золота и серебра по глубине залегания руд (от 33 до 166 м) показывает, что разброс по золоту составляет от 0,54 до 3,81 г/т, а по серебру – от 0,5 до 82 г/т (табл.2).

Анализ приведенных данных свидетельствует о том, что по всем типам пород на глубинах 33–80 м среднее содержание золота составляет 1,23 г/т, на глубинах 81–135 м – 1,55 г/т, а на глубинах 136–166 м – 1,34 г/т, в целом по средним содержаниям золота намечается тенденция его увеличения от поверхности на глубину с 0,5 до 2,5 г/т.

Таблица 2. Распределение средних содержаний золота и серебра (г/т) по глубине залегания руд

№ скважин	Глубина, м	Число проб	Содержание Au	Содержание Ag
2501	33	8	1,5	20,4
	58	10	1,45	25,8
	80	3	1,13	1,47
	103	16	1,81	1,45
	116,5	1	2,36	5,9
	157,5	1	1,43	4,1
	165,5	1	0,76	1,4
2502	44	9	0,95	9,8
	52	2	0,74	4,05
	67	15	0,76	54,5
	84	4	0,75	76,4
	91,5	1	0,55	64,4
	97	2	0,74	13,9
	104	7	2,1	4,1
	116,5	1	3,81	1,6
	135	10	1,22	1,6
	153	16	1,84	0,91
2503	77	17	1,36	1,73
	92,5	1	0,54	0,5
	97	3	0,67	3,97
2504	39	16	1,48	82
	57	6	3,32	63,2
	62	1	0,62	0,8
	72	4	0,74	1,13
2505	33	7	1,25	3,6
	40	3	0,69	10,8
	97	12	1,1	12,55
Диапазон	33-166		0,54-3,81	0,5-82

По средним содержаниям серебра намечается 2 поля: а) в брекчиях с глубины 40 до 95 м содержание серебра падает с 82 до 50 г/т; в остальных породах (алевролиты, гранодиориты, доломиты) с глубины 33 до 166 м содержание серебра уменьшается от 25 до 1,5 г/т.

О корреляционных связях золота и серебра следует отметить, что в алевролитах и гранодиоритах намечается по 2 поля. В алевролитах в первом поле отмечается следующая тенденция: при содержаниях серебра от 0,5 до 40 г/т идет спад содержаний золота от 3,5 до 0,4 г/т; во втором поле при содержаниях серебра от 40 до 95 г/т идет увеличение содержаний золота от 0,5 до 5,5 г/т.

В гранодиоритах между содержаниями золота и серебра выявлены следующие тенденции: в первом поле при содержании серебра до 2 г/т содержания золота меняется по прямой вертикали от 0,5 до 4,2 г/т; во втором поле при содержании серебра от 5 до 45 г/т идет увеличение содержаний золота от 0,5 до 1,7 г/т.

Отмеченные закономерности в виде тенденций по распределению содержаний золота и серебра в литологических типах пород и по глубине залегания руд могут быть полезны при разработке месторождения, а корреляционные связи – при выборе технологических схем обогащения руд данного месторождения.

#### Библиографический список

1. Редин Ю.О. Золоторудная минерализация Лугоканского рудного узла (Восточное Забайкалье): минеральные ассоциации, возраст, эндогенная зональность – Автореферат дисс. к.г.-м.н. - Новосибирск, 2015, 20 с.
2. Редин Ю.О., Козлова В.М. Паспорт месторождения Серебряное -2012 г.

3. Редин Ю.О., Редина А.А., Прокопьев И.Д. и др. Рудно-магматическая система Лугоканского золото-медно-скарнового месторождения (Восточное Забайкалье) - Изд-во СО РАН, 2022. 45 с.
4. Литвинцева О.В., Юг А.Ю., Дружинина Ю.В. и др. Изучение вещественного состава и технологических свойств руды месторождения Серебряное: отчет о научно-исследовательской работе – Чита, 2024. – 81 с.

**Рений в рудах Гутайского месторождения (Западное Забайкалье)***Юргенсон Г.А.<sup>1</sup>, Груздев Р.В.<sup>2</sup>*<sup>1</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)<sup>2</sup> Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, [rogruzdev@mail.ru](mailto:rogruzdev@mail.ru)

**Аннотация.** Статья содержит краткую информацию о первом в России Гутайском (Чикойском) месторождении молибдена, минеральном и химическом составе руд, полученном в результате химико-аналитических (на 59 элементов) и электронно-микроскопических исследований. В работе показаны электронно-микроскопические снимки, приведены содержания (Mo, Re) для 30 штучных проб, отобранных из руд Гутайского месторождения.

**Ключевые слова:** молибденит, повеллит, рений, лабораторно-аналитические исследования, Гутайское месторождение, Забайкалье, Россия.

**Rhenium in the ores of the Gutayskoye deposit (Western Transbaikalia)***Yurgenson G.A.<sup>1</sup>, Gruzdev R.V.<sup>2</sup>*<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the SB of the RAS, Chita, Russia, [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)<sup>2</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the SB of the RAS, Chita, Russia, [rogruzdev@mail.ru](mailto:rogruzdev@mail.ru)

**Abstract.** The article contains brief information about Russia's first Gutayskoye (Chikoyskoye) molybdenum deposit, the mineral and chemical composition of ores obtained as a result of chemical analysis (59 elements) and electron microscopic studies. The paper shows electron microscopic images, the contents (Mo, Re) for 30 ore samples taken from the ores of the Gutayskoye deposit.

**Keywords:** molybdenite, powellite, rhenium, laboratory and analytical studies, Gutayskoye deposit, Transbaikalia, Russia.

**Введение**

Известно, что рений является обычным спутником молибдена [1] и часто содержится в рудах его месторождений в Забайкалье в промышленных концентрациях [1–4]. Основным носителем рения является молибденит [1]. Содержание рения в молибденитах месторождений Забайкалья находится в пределах 15 – 280 г/т [1–4]. Максимальные средние содержания присущи молибдениту Студенческого (195 г/т) и Сырыгичинскому (106 г/т). Содержания рения в рудах находится в пределах 0,1 – 2,0 г/т. Согласно данным С.М. Баситовой по [1, 4] содержания рения в молибдените Гутайского месторождения составляло в среднем 74 г/т. Исходя из этого нами предпринято определение рения в рудах и околорудных горных породах этого месторождения.

**Общие сведения о месторождении.** Гутайское (Чикойское) месторождение молибдена расположено на правом берегу р. Чикой напротив с. Гутай в Красночикойском районе Забайкальского края. Открыто в 1900 году военными топографами. Согласно другим данным, оно известно с 1771 года. В 1826 году было официально признано, как первое в России месторождение молибдена. В 1915 году из молибденита этого месторождения на Путиловском заводе в Петрограде получен первый российский молибден, месторождение разрабатывалось до 1954 года и сохранились лишь развалины рудника. Летом 2024 года авторам статьи удалось отобрать образцы из рудных отвалов Гутайского месторождения и выполнить их изучение.

Рудные зоны локализованы в гнейсах и сланцах фации эпидотовых амфиболитов в ядре Гутайской антиклинали и связаны с гранитоидами гуджирского комплекса юрского возраста. Рудными телами являются кварцевые жилы мощностью 0,01–0,1 м, редко до 0.2 м и мелкие прожилки. Длина жил 65–325 м по простиранию и 80–350 м по падению. Содержание Mo 0,01–30,42 % (среднее по месторождению 0,05–1,2 %). Оруденение представлено молибденитом с незначительной примесью пирротина, пирита, а также, халькопирита, сфалерита и галенита, содержащего серебро. В ассоциации с пирротинном изредка наряду с халькопиритом и галенитом в жильном материале встречаются включения висмутита, содержащего до 2,26 мас. % серебра.

Молибденит образует вкрапления до 0,1–1,5 мм во вмещающей породе вблизи от контакта с жилой и сплошные выделения, приуроченные к стенкам трещин, заполненных жильным кварцем. Индивиды и отдельные пластины молибденита здесь достигают 1 см в поперечнике, а слои его на контактах кварцевых жил бывают до 1,5 см толщиной (рис. 1). Пластины молибденита обычно изогнуты и в существенной части по трещинам спайности замещены повеллитом.



Рисунок 1. Молибденит с контакта кварцевой жилы, размер 1,5x1,8 см. На нём видны мелкие желтоватые примазки повеллита. Обр. ГТ-1

#### **Методика исследования**

На химико-аналитические исследования отобрано 30 штучных проб. Штучные пробы после пробоподготовки анализировались в лаборатории АО «СЖС Восток Лиметед» на 59 элементов комбинированным методом масс-спектропии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES / ICP-MS), после разложения «четырьмя кислотами».

Электронно-микроскопические исследования шлифов проведены в лаборатории ФГБУН ГИН СО РАН с использованием растрового электронного микроскопа LEO-1430VP с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (в широком спектральном диапазоне элементов от В до U).

#### **Результаты исследования и обсуждение**

В результате выполненных исследований в большинстве проб выявлены высокие содержания молибдена (рис. 2) 0,08–1,00 % (в двух пробах  $Mo > 1,00$  %, выше ВПО). Кроме молибдена в некоторых пробах встречены повышенные содержания цинка 0,08–0,20 %, меди 0,02–0,40 %, в двух пробах золота 0,12–0,14 г/т и серебра 1,42–2,53 г/т. Практически во всех пробах обнаружены повышенные содержания рения более 0,01 г/т (ppm), причем в четырех пробах содержания Re достигают до 0,35–1,77 г/т (рис. 2).

На графике наблюдается заметная положительная корреляция (+0,84 Пирсона) молибдена и рения в рудах Гутайского месторождения. Авторы предполагают, что рений содержится в рудах месторождения в составе молибденита и повеллита.

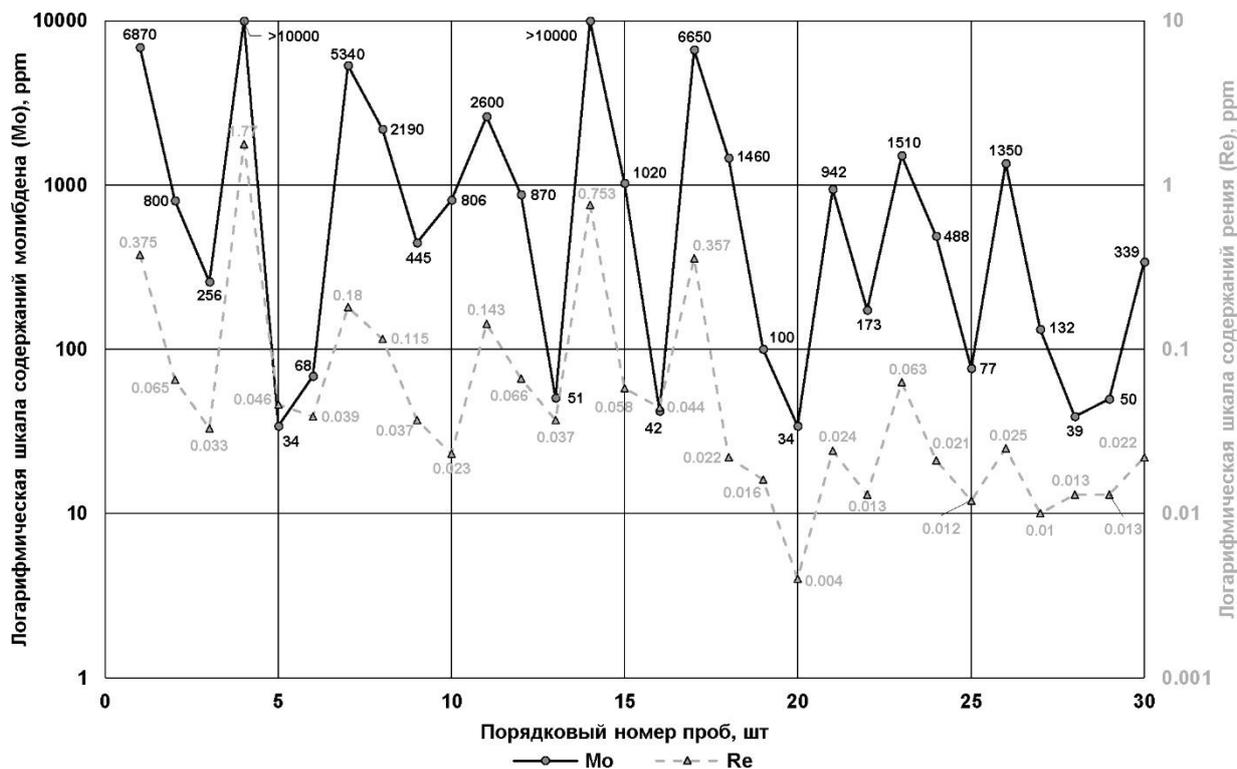


Рисунок 2. Диаграмма распределения рения и молибдена в рудах Гутайского месторождения

В одном образце аншлифа (обр. ГТ-9) в ходе электронно-микроскопических исследований обнаружен повеллит (рис. 3, точки 3, 6, 7), развитый по молибдениту (рис. 3, точки 4, 5). В слое повеллита, заместившем молибденит, присутствует 0,91 мас. % рения (рис. 3, точка 3). В находящиеся с ним рядом частях молибденита рений в содержаниях выше чувствительности микрозонда не обнаружен. Однако по результатам химико-аналитических исследований в пробе ГТ-9 рения достигает 1,77 г/т (см. рис. 2). При этом в пересчете на содержания в молибденитах концентрация рения достигает 106 г/т (1,06 мас. % рения), что в целом хорошо соотносится с результатами микрозонда.

Учитывая результаты электронно-микроскопических исследований, мы полагаем, что рений может содержаться не только в молибдените, но и в повеллите [3].

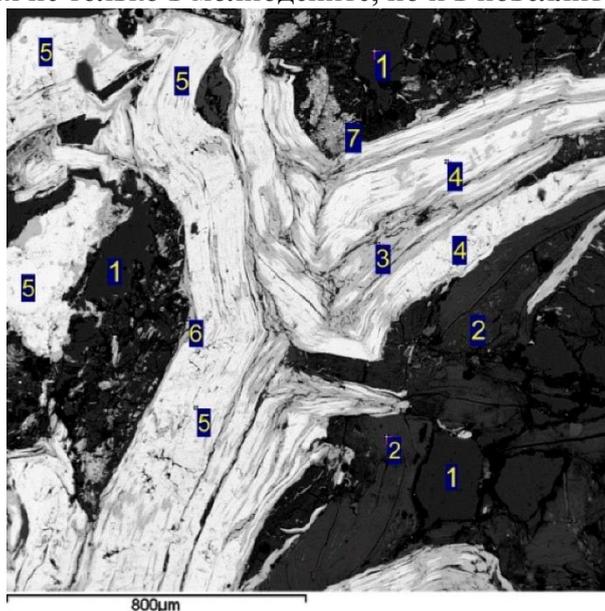


Рисунок 3. Повеллит (3, 6, 7), развитый по молибдениту (4, 5) в кварце (1), ассоциирующем с хлоритом (2).  
Обр. ГТ-9

Таким образом, на основе лабораторных исследований авторами подтверждаются ранние сведения, что в молибденитовых жилах Гутайского месторождения, где выявлены повышенные и высокие концентрации молибдена, присутствует рений.

#### **Выводы**

1. Наблюдается заметная положительная корреляция содержаний молибдена и рения в рудах Гутайского месторождения.

2. Рений в повышенных и высоких концентрациях присутствует в молибдените и повелите.

*Статья выполнена в рамках проекта FUFР 2021 – 2025 ИПРЭК СО РАН*

#### **Библиографический список**

1. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т.Ш. Генетические типы месторождений редких элементов. Минералогия редких элементов. Гл. ред. К.А. Власов. – М.: Наука, 1966. – 860 с.

2. Четкин В.С., Петров Р.Д., Юргенсон Г.А., Ильин Ю.Д., Петров А.Р., Рудаков В.Е., Мельниченко В.Я. Характеристика руд Бугдаинского месторождения // Материалы научно-практической конференции по геотехнологии молибденовых руд Бугдаинского месторождения. Чита: Изд-во Читинского Пединститута. 1993. С. 12–33.

3. Юргенсон Г.А., Груздев Р. В. О содержащем рений повеллите Гутайского (Чикойского) месторождения молибдена в Забайкалье // Записки Российского минералогического общества. (в печати).

4. Юргенсон Г.А. Минеральное сырьё Забайкалья. Часть I. Книга 2. Редкие элементы. – Чита: Поиск, 2008. – 240 с.

## К геохимии существенно пиритовых конкреций в Читино-Ингодинской депрессии

Г.А. Юргенсон<sup>1</sup>, А.И. Трубачев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, e-mail: [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

<sup>2</sup>Забайкальский государственный университет Чита, Россия, e-mail: [trubachev1704@gmail.com](mailto:trubachev1704@gmail.com)

**Аннотация.** Рассмотрены геохимические особенности существенно пиритовых конкреций, развитых в песчанико-глинистых отложениях юрского и мелового возраста, которыми выполнена Читино-Ингодинская мезозойская депрессия. На участке к западу от Читы установлена их обогащённость мышьяком, висмутом, сурьмой, молибденом, серебром. В одной пробе обнаружено золото. Прогнозируется золото-серебряная минерализация на глубине.

**Ключевые слова:** конкреция, сферолит, пирит, песчаник, коэффициент концентрации, Читино-Ингодинская депрессия

## On the geochemistry of essentially pyrite concretions in the Chita-Ingoda depression

G.A. Yurgenson<sup>1</sup>, A.I. Trubachev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

<sup>2</sup>Transbaikal State University Chita, Russia, e-mail: [trubachev1704@gmail.com](mailto:trubachev1704@gmail.com)

**Abstract.** The geochemical features of essentially pyrite concretions developed in sandy-clayey deposits of Jurassic and Cretaceous age, which fill the Chita-Ingoda Mesozoic depression, are considered. In the area west of Chita, their enrichment in arsenic, bismuth, antimony, molybdenum, silver was established. Gold was found in one sample. Gold-silver mineralization at depth is predicted.

**Key words:** concretion, spherulite, pyrite, sandstone, concentration coefficient, Chita-Ingoda depression,

В пределах Читино-Ингодинской депрессии на территории от побережья р. Ингода до границы её на линии сочленения с подножьем Яблонового хребта, в бассейне р. Кадала, а также непосредственно в левобережье долины р. Чита в Северном микрорайоне г. Чита, развиты отложения песчаников, содержащих прослой алевролитов или аргиллитов. Первая информация о них была дана нами ранее [1]. Наиболее высокие концентрации в конкрециях были определены (пределы содержаний, г/т) вольфрама (100-3000), мышьяка (200-400), сурьмы (51-103), кобальта (15-31), бария (310-702) и др. В пирите установлены (г/т): Pb (до 20), Zn (до 40), As (до 1103), Sb (до 295). В некоторых образцах присутствуют золото и серебро.

В 2025 году исследования пиритсодержащих конкреций продолжены и получены новые результаты. Анализ песчаников, содержащих в тех или иных количествах пирит, проанализированы в АО СЖС «Восток ЛИМИТЕД» методом ICP MS. Из образцов 22дв и 30дв изготовлены аншлифы, просмотренные на поляризационном микроскопе Carl Zeiss Jena Score A-1. При расчете коэффициентов концентраций элементов приняты уточненные современные значения кларков [Касимов, Власов, 2015; Rudnick, Gao, 2003].

Конкреции образуют караваеобразные или округлые стяжения от 0.2 до 23 см в длину и до 8 см толщиной. Они развиваются по среднезернистым, крупно- и грубозернистым песчаникам с кварцево-серицитовым, иногда кварцево-сидеритовым цементом. Цвет их серый, темно-серый, зеленовато-серый, на изломах золотисто-зеленый за счет пирита, участками, в результате окисления сульфидов – буро-коричневый. Плохо окатанные зерна серого и темно-серого кварца (1 – 6 мм по длинной оси) и, реже – полевого шпата замещаются и цементируются новообразованным тонко- до мелкозернистого кварцем и пиритом, а также – очень редко – арсенопиритом. Существенно пиритовые конкреции встречаются на берегу Ингоды вблизи устья р. Кадала. Срез одной из таких караваеобразных конкреций величиной от 16 до 18 см при толщине до 6 см показан на рисунке 1.



Рисунок 1. Срез караваяеобразной существенно пиритовой конкреции. Образец 10 дв.

В мелкозернистых песчаниках в долине р. Читы вблизи микрорайона Северный обнаружено поле интенсивного развития сферолитоподобных существенно пиритовых конкреций. Ни образуют как отдельные сферолиты до 12 мм в диаметре (рис. 2), так и сплошные их сростки, образующие неправильной формы срастания до 8 – 10 см (рис.3). Цвет песчаника тёмно-бурый вследствие замещения тонких зерен пирита гётитом и гидрогётитом.



Рисунок 2. Два существенно пиритовых сферолита на в почти черном мелкозернистом песчанике. Образец Чит-2. Долина р. Чита в Северном микрорайоне г. Чита.



Рисунок 3. Сросток существенно пиритовых сферолитов, сцементированный тонкозернистым песчаником. Образец Чит-1. Долина р. Чита в Северном микрорайоне г. Чита.

Пирит в конкрециях составляет 10-80% от их объёма. Он образует неравномерную вкрапленность в цементе песчаников, замещая и пронизывая его и обломочные зерна полевых шпатов. Иногда вкрапленность сплошная или прожилковая. Зерна обломочных минералов пересекаются сериями тончайших прожилков пирита мощностью до 0,01 – 0,1 мм. Наблюдаются также и ветвящиеся жилообразные и линзовидные тела пирита протяженностью до 10-12 см при мощности до 8 – 23 мм. (рис. 4).



Рисунок 4. Система ветвящихся прожилков пирита, образующих цемент в слое грубо-зернистого песчаника, в котором крупные индивиды кварца имеют величину до 3-4 мм. Образец песчаника 30 дв.

Песчаники, включающие эти секущие образования пирита крупнозернистые до грубозернистых. Обломки кварца часто совершенно прозрачны, иногда они темно-дымчатые или молочно-белые. Их облик совпадает с кварцем развитых в пегматитах памятника Дворцы в Яблоновом хребте. Это свидетельствует, что источником обломочного материала были граниты и пегматиты, развитые в бассейне р. Кадала.

Выявленные особенности форм и строения свидетельствует о необычном образовании рассматриваемых конкреций, а, скорее всего, об участии в их формировании гидротерм. В пользу этого предположения свидетельствует данные о концентрациях элементов-примесей в конкрециях и пирите. В них определен широкий набор примесей (таблицы 1 и 2).

Таблица 1. Содержания элементов-примесей, серы и железа в конкрециях

Номер пробы	Элемент, его содержание, г/т, и коэффициент концентрации													
	Au		Ag		Pb		Cd		S		Fe		Mo	
20дв	<0,03	<2,0	0,03	0,57	18,8	0,22	0,08	0,89	23	241	21,8	5,37	16	14,5
22дв	<0,03	<2,0	0,35	6,6	259 0	30,8	0,75	8,23	0,84	8,81	10,8	2,66	1,5	1,36
10дв	<0,03	<2,0	0,06	1,13	28,3	1,66	0,11	1,22	22	231	20,5	5,05	12,9	11,72
30 дв	<0,03	<2,0	0,09	1,70	23,3	1,35	0,06	0,67	15	157	17,9	4,41	25,7	23,37
1 ин	Н.о		0,08	1,51	26,1	1,54	0,09	1,00	31	325	28,0	6,9	11,7	10,64
Чит-1	<0,03	<2,0	0,02	0,38	23,1	1,36	0,07	0,08	30	315	26,3	6,48	6,35	5,77
Чит-2	0,27	18	0,053	0,94	14,5	0,85	0,04	0,44	0,71	7,45	16,8	4,14	5,57	5,06
Кларк	0,0015		0,053		17		0,09		953		4,06%		1,1	

Примечание. 1– Левая колонка – содержание, правая колонка – коэффициент концентрации относительно кларка. 2 – Содержания серы и железа даны в мас.%.

Содержания всех рудных элементов значительно варьируют. Золото в проанализированных образцах везде, за исключением мелких сферолитов из долины р. Чита вблизи микрорайона Северный, не дает концентраций выше нижнего определения методом пробирного анализа (0,03 г/т). И лишь в образце Чит-2 оно составляет 0,27 г/т, что в 18 раз превышает его кларк. Серебро же в этом образце едва достигает величины кларка. Меньше кларка его содержание и в другом образце конкреций с этого же места. Во всех остальных пробах содержание его более среднего

в земной коре, достигая максимума в обр. 22 дв. В этом же образце самое высокое содержание свинца (0,259%), превышающее кларк в 30,8 раз. Для него же характерно и максимальное содержание кадмия, соответствующее сверхкларковому (141 г/т) содержанию цинка. Этот образец содержит также максимальное количество калия (7,33 К<sub>2</sub>О), стронция (1,03%), бария (1,94%), ванадия (387 г/т), циркония (920 г/т), титана (2,01%) и теллура (0,28 г/т).

Относительно высокие содержания молибдена (до 0,0026%, превышающие кларк в 23,27 раз) установлены в образце 30дв, отличающемся интенсивным развитием пирита в форме системы секущих прожилков.

Содержания серы и железа в конкрециях находятся в пределах, соответственно, 0,71 – 30 и 10,8 – 28,0 мас. %.

Особое значение, как возможные признаки золотого оруденения на глубине, могут иметь аномальные для осадочных пород содержания висмута, мышьяка и сурьмы (табл. 2).

Таблица 2. Содержание элементов-спутников золотого оруденения

Номер пробы	Элемент, его содержание, г/т, и коэффициент концентрации							
	As		Sb		Bi		Te	
20дв	690	123	131	162	0,43	2,69	0,0125	0,46
22дв	3	0,54	0,39	0,48	17,7	111	0,28	10,37
10дв	702	125	123	152	0,63	3,94	0,0125	0,46
30 дв	86	15,4	1,97	2,43	0,33	2,06	0,0125	0,46
1 ин	1150	205	183	226	1,38	8,62	0,06	2,22
Чит-1	2130	380	171	211	0,4	2,5	0,0125	0,46
Чит-2	52	9,3	6,13	7,57	0,36	2,12	0,0125	0,46
Кларк	5,6		0,81		0,16		0,027	

Коэффициент концентрации мышьяка относительно кларка, за исключением пробы 22дв, находится в пределах 9,3 – 380, сурьмы, за исключением этого же образца, в пределах 2,43 – 183. Висмут и теллур ведут себя по-другому. Именно в пробе 22дв, где максимальны содержания серебра, свинца, цинка и кадмия, максимальны содержания висмута и теллура. Это же относится и к образцу 1ин, отобранному из конкреции, найденной в устье р. Кадала при впадении её в р. Ингода.

В штуфной пробе жильного кварца в районе пади Лапочкина нами обнаружено 3г/т золота. Согласно данным [2] на левобережье р. Застебинский в штуфной пробе из

гидротермально измененных туфоконгломератов среднебадинской подсветы также установлено 3 г/т золота. Кроме этого, согласно данным тех же авторов Au присутствует во всех штучных пробах в сотых и тысячных долях г/т. А в некоторых пробах из зон окварцевания установлены содержания Ag (0,6 – 2,8 г/т) и Au (0,02 – 0,15 г/т).

#### **Выводы**

1. Особенности геохимической специализации пиритсодержащих конкреций, проявленные в сверхкларковых содержаниях серебра, свинца, цинка, кадмия, молибдена, а также мышьяка, сурьмы, висмута и теллура, типичных элементах-индикаторах надрудных зон золотого оруденения, свидетельствуют о возможном нахождении в пределах Читино-Ингодинской депрессии вдоль зоны её сочленения с со структурами Яблонолвого хребта, месторождений золота.

2. Пиритовые конкреции связаны, вероятно, как с процессами осадконакопления и диагенеза, так и с наложенными гидротермальными растворами, циркуляция которых обусловлена меловым вулканизмом, о чем свидетельствуют зоны кварцево-пиритового рожилкования, наиболее ярко выраженные в образце 30 дв, проходящего из зоны интенсивного развития конкреций в бассейне р. Кадалинка.

4. О широком развитии гидротермальных процессов в прибортовой части Читино-Ингодинской депрессии вдоль Яблонового хребта свидетельствует и широкая полоса халцедоновидного кварца, протягивающаяся от с. Подволок до пади Домна ключи. В этом кварце нередко содержится и флюорит, и в частности, мелкое Монгойское месторождение флюорита, где известен пирит. Жильный кварц в зоне окварцевания содержит халькопирит, пирит, малахит и золото. В этой полосе можно ожидать проявление золотоносности малоглубинной золот-сульфидно-флюорит-кварцевой формации.

#### **Библиографический список**

1. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. 2015. №2. – С. 7- 16.
  2. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации масштаба 1:200000 по листу N-49-XXXIV Даурской серии / Пехтерев С.Н., Герасимов Е.П., Кунько Г.Г., Абушкевич С.А. и др./
  3. Филенко Р.А., Юргенсон Г.А. Пиритовые конкреции Читино-Ингодинской депрессии // VII Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле»: Тезисы докладов: Т.1. – М., 2005. – С. 306.
- Rudnick R.L., Gao S. Composition, of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Vol. 3. The Crust. Elsevier Sci., 2003. Pp. 1 – 64.

## 2. Геммологическая минералогия и камнесамоцветное сырье

УДК 549.02

### Кристаллохимические особенности и природа окраски бериллов Шерловой горы

*Николаев А.Г.<sup>1</sup>, Бахтин А.И.<sup>1</sup>, Юргенсон Г.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия  
e-mail: anatolij-nikolaev@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия  
e-mail: yurga@mail.ru

**Аннотация.** Целью предлагаемой работы являлось исследование кристаллохимических особенностей и природы окраски бериллов с месторождения Шерловая гора. Были выявлены центры окраски бериллов и их структурное положение в кристаллической решетке минерала. Дополнительно были изучены и рассчитаны цветовые координаты цвета для различных кристаллов.

**Ключевые слова:** Берилл, оптическая спектроскопия, геммология, кристаллохимия.

### Crystal chemical features and the nature of the color of the beryls of Sherlova Mountain

*Nikolaev A.G.<sup>1</sup>, Bakhtin A.I.<sup>1</sup>, Yurgenson G.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia  
e-mail: anatolij-nikolaev@yandex.ru

<sup>2</sup>The Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia  
e-mail: yurga@mail.ru

**Abstract.** The aim of the proposed work was to study the crystallochemical features and the nature of the color of beryls from the Sherlovaya Gora deposit. The color centers of beryls and their structural position in the crystal lattice of the mineral were identified. Additionally, the color coordinates of color for various crystals were studied and calculated.

**Keywords:** Beryl, optical spectroscopy, gemology, crystal chemistry.

Берилл считается основной рудой для получения химического элемента бериллия. Помимо этого, цветные разновидности данного минерала являются ценными ювелирными камнями. Целью предлагаемой работы являлось исследование методом оптической абсорбционной спектроскопии кристаллов берилла, изучение их кристаллохимических особенностей и природы окраски с месторождения Шерловая гора. Дополнительно данные образцы были исследованы люминесцентной и КР-спектроскопией.

Шерловая Гора со второй четверти XVIII века известна в России и за ее пределами как уникальный природный заповедник ювелирных и коллекционных камней, образцами которых гордятся многие музеи мира. С 1930 года она вошла и в список крупных месторождений олова, свинца, цинка, индия и кадмия. Шерловогорская рудно-магматическая система в 1950-1970-е годы была объектом пристального внимания геологов-рудников, петрологов, геохимиков и минералогов. Другой достопримечательностью Шерловой Горы являются зоны современного минералообразования, обусловленного выносом временными водными потоками целого ряда компонентов из отвалов вскрышных и окolorудных горных пород, складов бедных руд, из стенок карьера. Геологическая позиция месторождения описана в [3].

Основной метод исследования в данной работе – оптическая абсорбционная спектроскопия. Оптические спектры поглощения записывались на специализированном спектрофотометре SHIMADZU UV - 3600 в диапазоне длин волн 185 - 3300 нм. Дополнительно оптические спектры записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ - К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400 – 800 нм, с шагом 1 нм. Для объективного измерения и описания окраски берилла была использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ. Все колориметрические результаты по интерпретации оптических спектров поглощения минералов были вынесены на стандартный цветовой треугольник международной комиссии по освещению (МКО - 1931). Колориметрические параметры исследуемых минералов (x, y, z – коэффициенты цветности;

$\lambda$  – длина волны,  $\rho$  – густота,  $L$  – яркость основного цветового тона) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр». Оптические спектры поглощения записывались с обломков кристаллов и с плоскопараллельных препаратов; цвет образцов берилла – бледно-желтый, ярко-желтый, голубовато-зеленый, светло-зеленый, насыщенный голубой. Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

Люминесцентная и КР-спектроскопия проводилась с помощью спектрометра рамановского рассеяния inVia Qontor Renishaw, длина волны возбуждения лазера 532 нм, мощностью 500 мВт.

Берилл представляет собой кольцевой силикат бериллия и алюминия  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ , структура берилла состоит из колец  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ , соединенных через атомы Be и Al. Кольца образуют вытянутые вдоль оси шестого порядка колонки, связанные бериллиево-кислородными тетраэдрами и алюмокислородными октаэдрами.

Характерной особенностью структуры минерала является наличие достаточно ёмких полостей – каналов, которые объясняют возможность широкого проявления гетеровалентного изоморфизма с вхождением ионов-компенсаторов. Каналы достаточно большие, могут вмещать молекулы воды, крупные щелочные и щелочноземельные катионы. Для структуры берилла характерно частичное замещение атомов  $\text{Be}^{2+}$  на  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Изоморфизму подвержены и ионы  $\text{Al}^{3+}$  в октаэдрических позициях структуры, которые могут быть замещены трёх- и двухвалентными катионами:  $\text{Al}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Si}^{4+}$ . В качестве ионов – компенсаторов в каналы структуры при этом входят крупные катионы щелочных металлов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ), а также группы  $(\text{OH})^-$ , молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , ионы  $\text{F}^-$  и др. [2]. В кристаллах берилла Шерловой Горы кроме железа, в качестве примесей установлены V, Cr, Sc, Zr, влияние которых на особенности их окраски еще предстоит выяснить.

Общей особенностью оптических спектров поглощения кристаллов берилла с Шерловой горы является наличие одной широкой интенсивной полосы в ближней инфракрасной области с максимумом на длине волны 810 нм, обусловленной разрешенным по спину электронным переходом  ${}^5\text{T}_2({}^5\text{D}) \rightarrow {}^5\text{E}({}^5\text{D})$  в ионах двухвалентного железа, изоморфно замещающих алюминий в октаэдрических позициях структуры [1]. В ультрафиолетовой области присутствует полоса поглощения, длинноволновое плечо которой можно наблюдать в видимой области спектра, и она связана с механизмом переноса заряда  $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ . Узкие полосы поглощения на длине волны 1400 и 1896 нм связаны с колебаниями молекул воды в каналах структуры берилла, а именно линия 1896 нм отвечает колебаниям первого обертона, а линия 1400 второго обертона молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ . По конфигурации узкой полосы поглощения в районе 1896 нм можно говорить, что в бериллах присутствует молекулярная вода I и II типа. По данным КР-спектроскопии было выявлена линия на длине 3608  $\text{cm}^{-1}$ , она указывает что во всех изученных бериллах преобладает молекулярная вода I типа в каналах [5]. Люминесцентная спектроскопия показала две линии излучения на длинах волн 680 и 683 нм во всех изученных образцах. Эти линии имеют слабую интенсивность, и они по своей природе связаны с R-линиями хрома [4].

Интерпретация оптических спектров поглощения кристаллов берилла с месторождения Шерловая гора показали следующие результаты. Интенсивность полос поглощения, связанных с ионами  $\text{Fe}^{2+}$  на длине волны 810 нм у всех кристаллов практически одинаковое, нет прямой зависимости от высоты пика и цвета берилла. При усилении полосы поглощения  $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$  происходит лишь усиление зеленых оттенков и переход от зеленых бериллов к желтым гелиодорам. Комбинации двух этих центров окраски, которые описаны выше и создают цветовую гамму цветов в бериллах с Шерловой горы.

По результатам интерпретации оптических спектров поглощения кристаллов бериллов были проведены расчеты координат цветности по международной колориметрической системе МКО - 1931. Доминирующая длина волны основного цветового тона составила  $\lambda = 495,2 - 573,4$  нм, а величина насыщенности основного цветового тона изменялась в пределах

2,05 – 33,17 %. Данные параметры хорошо коррелируются с цветовыми характеристиками кристаллов берилла с месторождения Шерловая гора.

#### **Библиографический список**

1. Бахтин А.И. Породообразующие силикаты: оптические спектры, кристаллохимия закономерности окраски, типоморфизм // Казань: Изд. Казанского ун-та, 1985. 192 с.
2. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия // М.: Изд-во «Книжный дом Университет», 2005. 592 с.
3. Юргенсон Г.А., Кононов О.В. Шерловая Гора: месторождение самоцветов и редких металлов // Минералогический альманах, 2014, Т. 19. С. 12–93.
4. Gaft M., Pznczer G., Reisfeld R. Modern luminescence spectroscopy of minerals and materials // Springer, 2015. 619 p.
5. Huong L.T., Häger T., Hofmeister W. Confocal micro-Raman spectroscopy: a powerful tool to identify natural and synthetic emeralds // Gems & Gemology, 2010, V. 46, № 1. p. 36-41.

## Геммология черного и серого аподоломитового нефрита Кавоктинского месторождения

*Кислов Е.В.*

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия e-mail: evg-kislov@ya.ru

**Аннотация.** Графит, обнаруженный в образцах черного нефрита из юго-восточной части Кавоктинского месторождения, образуется в результате метаморфизма органического вещества, содержащегося в доломите, и разложения углекислоты под действием глубинного водорода. Серый цвет тремолит-диопсидового нефрита объясняется примесью хлорита. Окраска серо-зеленого до черного нефрита северо-западной части Кавоктинского месторождения объясняется повышенным содержанием железа в тремолите до актинолита в контакте с эпидот-тремолитовым скарном по амфиболиту.

**Ключевые слова:** тремолит, графит, хлорит, актинолит.

## Gemmology of black and gray dolomite type nephrite from the Kavokta deposit

*Kislov E.V.*

*N.L. Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, e-mail: evg-kislov@ya.ru*

**Abstract.** Graphite, found in samples of black nephrite from the southeastern part of the Kavokta deposit, is formed as a result of metamorphism of organic matter contained in dolomite and decomposition of carbon dioxide under the action of deep hydrogen. The gray color of tremolite-diopside nephrite is explained by the admixture of chlorite. The gray-green to black color of the nephrite at the northwestern part of the Kavoktinsky deposit is explained by increased iron content in tremolite to actinolite in contact with epidote-tremolite skarn after amphibolite.

**Keywords:** tremolite, graphite, chlorite, actinolite

Нефрит – почти мономинеральная горная порода, состоящая из спутанно-волокнистого скрытокристаллического тремолита. Это высоколиквидный ювелирно-поделочный камень, издавна используемый человеком, особо популярный в Китае, Новой Зеландии, тихоокеанском побережье Америки. Наиболее ценятся белый просвечивающий нефрит; черный; ярко-зеленый с минимальным количеством рудных минералов; зеленый с эффектом «кошачьего глаза»; аллювиальные гальки с каемками прокрашивания.

Месторождения нефрита относятся к двум эндогенным геолого-промышленным типам: апоультрамафитовые метасоматиты офиолитов (апосерпентинитовый) и апокарбонатные тремолит-кальцитовые магнезиальные скарны (аподоломитовый). Месторождения первого типа - источник преимущественно зеленого до коричневого и черного нефрита, месторождения второго типа дают в основном светлоокрашенный нефрит от белого до светло-зеленого (салатного), коричневого (медового), черного цвета. Экзогенный геолого-промышленный тип представлен россыпями, из которых наиболее продуктивны аллювиальные.

Черный нефрит пользуются большой популярностью. В Китае считается, что отполированные изделия из черного нефрита напоминают изделия из черного лака. Черный нефрит используется для изготовления украшений и ритуальных предметов. В настоящее время изделия из черного нефрита рекламируются как имеющие лечебные или эзотерические свойства. При этом зачастую такие они выполнены не из черного нефрита, а из насыщенного графитом базальта или черного сланца как в России, так и за рубежом.

В России до сих пор был известен только черный апосерпентинитовый нефрит двух месторождений: Горлыкгольского в Восточно-Саянской нефритоносной провинции и Хамархудиного в Джидинской нефритоносной провинции [4]. За рубежом черный аподоломитовый нефрит встречается на некоторых месторождениях Китая, Австралии и Италии. Работа посвящена выяснению причины окраски впервые выявленного серого и черного аподоломитового нефрита Кавоктинского месторождения.

**Кавоктинское месторождение** находится в Витимской нефритоносной провинции в Баунтовском эвенкийском районе Бурятии. Кавоктинское – наиболее крупное месторождение аподоломитового нефрита России: на 01.01.2024 г. запасы нефрита-сырца 6034.88 т, из них сортового нефрита 1257.13 т – 13.61% запасов сортового нефрита России. В

2023 г. добыто 367.20 т нефрита-сырца, из них 78.64 т сортового – 28.05% добычи сортового нефрита России. Добыча 2024 г. – 292,80 т нефрита-сырца, из них 69,84 т сортового. Месторождение выделяется высоким качеством нефрита – повышенной блочностью и просвечиваемостью, преобладанием белой, светло-зеленой окраски, коричневыми каемками прокрашивания, позволяющими изготавливать многоцветные изделия.

Район месторождения сложен гранитоидами средне-позднекаменноугольного витимканского комплекса – составной части Ангаро-Витимского батолита. В гранитах залегают ксеноблоки сложной формы, останцы в провисах кровли пород талалинской толщи. В ее низах общей мощностью 1400–1600 м преобладают гнейсы с подчиненным количеством амфиболитов и силикатных мраморов мощностью до 40 м. В верхах толщи преобладают сланцы с линзами мраморов, на отдельных интервалах переслаивание гнейсов и сланцев. Разрез венчается пачкой сланцев с мраморами. Эта часть разреза составляет 800–1000 м. Общая мощность толщи 2200–2600 м. Степень метаморфизма отвечает амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фациям. Широко проявлен метасоматоз. Метасоматические породы, включающие нефрит, располагаются в контактовой зоне тел доломита и амфиболита, слагающих ксеноблоки в граните Ангаро-Витимского батолита. Полная метасоматическая зональность: доломитовый мрамор – силикатный мрамор – кальцит-тремолитовый скарн с нефритом – эпидот-тремолитовый скарн – амфиболит или диорит. Чаще наблюдаются сокращенные варианты зональности. Серые и черные цвета нефрита ранее не были описаны, хотя такой нефрит используется в производстве изделий ООО «Ориентал Вэй».

**Методика.** Визуальное петрографическое и минералогическое изучение проводилось при естественном освещении, применялась фотофиксация.

Минеральный состав изучен на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» (ГИН СО РАН, Улан-Удэ), аналитик Е.А. Хромова. Условия исследования: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 0.3-0.4 нА, размер зонда <0.1 мкм, время измерения 50 секунд (живое время), ошибка анализа на сумму достигает 2–4 масс. % в зависимости от качества поверхности образца и особенностей его состава. Содержание трехвалентного железа вычислено по стехиометрии.

Рентгенофазовый анализ проводился на порошковом автоматическом дифрактометре D8 Advance (BrukerAXS, Германия) в Центре коллективного пользования Байкальского института природопользования СО РАН, аналитик И.Ю. Котова, с соответствующим программным обеспечением со скоростью угломера 2° в минуту в интервале от 5 до 70°.

Изотопный состав углерода определялся на масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (США) с предварительным сжиганием на опции Flash EA 1112 (Thermo Fisher Scientific, США) в ЦКП «Геоспектр» (ГИН СО РАН, Улан-Удэ), аналитик В.Ф. Посохов. Пробы анализировались вместе с международными стандартами USGS 40, IAEA-N-1. Погрешность полученных значений  $\delta^{13}\text{C}$  составляла  $(1\text{s}) \pm 0.2 \text{ ‰}$ .

**Юго-восточная часть Кавоктинского месторождения.** Изучены образцы керна. Образцы 565901 и 585901 из залежи 17 нефритоносной зоны № 4 участка Медвежий. Залежь приурочена к вытянутому в северо-западном направлении ксенолиту доломитовых мраморов в амфиболитах. Залежь продуктивная – в 2023 г. добыто 87,03 т нефрита-сырца с выходом 21,60 %, в 2024 г – 116,74 т нефрита-сырца с выходом 22,12 %.

Образец 952501 из залежи 28 нефритоносной зоны № 4 участка Медвежий. Залежь сложной морфологии расположена на контакте линзы доломитовых мраморов с эпидот-тремолитовыми породами, микролинизированными амфиболитами. В этой залежи в 2023 г. взята валовая проба в 77,10 т нефрита-сырца с выходом 21,32 %.

Изучены 8 образцов из залежи 6-1 участка Левобережный. Она состоит из четырех параллельных друг другу зон скарнов, приуроченных как к контактовым частям ксенолитов доломитового мрамора параллельно контакту, так и к внутренней их части. Ранее это был участок незаконной добычи – «шестерка». Запасы Левобережного участка посчитаны и поставлены на баланс в 2021 г.

Для образца 596803 характерны полосы, пятна как белого, так и серого цвета. Образец 565901 неоднородного светло-зеленого цвета с субпараллельными извилистыми серыми до черных прожилками. Для остальных образцов характерен общий белый фон с черными прожилками, точками, зернами либо неоднородный серый цвет.

Преобладающий минерал - тремолит разной морфологии, содержание в нем FeO ниже предела обнаружения, редко до 0.49 вес. %. В светло-зеленом образце 565901 содержание FeO 0.50–0.87 вес. %, в нем в отличие от остальных образцов отмечены тальк и молибденит. В образце 596803 диопсид формирует мономинеральные тонкозернистые белые прослои, что приближает нефрит к диопсидовому – «каркаро». В большинстве образцов отмечены изометричные или корродированные зерна диопсида, зачастую с включениями графита, сростаниями с тремолитом, кварцем, графитом. В образце 596803 хлорит клинохлор образует прослои, слагает интерстиции между кристаллами диопсида, в других образцах он редок.

Графит обнаружен во всех образцах, кроме 596803, образует уплощенные кристаллы, удлинённые, прожилкообразные зерна, включения в диопсиде, кварце, содержит включения кальцита. В образце 565901 сростания графита с кальцитом выглядят как черные зерна. Наличие графита подтверждено рентгенофазовым анализом образцов 952501 и 941703.

Кварц встречен в трех образцах, образует зерна и пятнообразные агрегаты с постепенными границами, зачастую с включениями графита. Кальцит обнаружен в двух образцах в ассоциации с графитом. Фторопатит зафиксирован в восьми образцах в большом количестве, ассоциирует с графитом, единственное зерно хлоропатита. Единичные зерна циркона и талька встречаются в ассоциации с графитом. Отмечены пренит, бадделеит и барит. Распространены халькозин и галенит, молибденит и сульфат висмута и свинца редки.

**Северо-западная часть Кавоктинского месторождения.** Участок Прозрачный на северо-западе месторождения включает нефритоносные зоны 1 и 2. Нефритоносная зона 1 субширотного простирания находится на южном фланге участка и объединяет залежи 1, 4, 9. Залежь 1 - нефритовое тело с тектоническими контактами сложной морфологии с пережимами, раздувами в районе контакта доломитовых мраморов с эпидотизированными амфиболитами. Длина залежи 15 м, мощность 0.2–2.8 м, падение крутое на юго-запад под углом 60–70°. Вскрыта на глубину 15 м. На глубине выявляется сложная пропеллорообразная морфология за счет изменения углов падения от 20 до 65° [1]. Это одна из наиболее продуктивных залежей месторождения. В 2022 г. из залежи добыто 53.19 т нефрита-сырца с выходом сортового 15.4 %, в 2023 – 82.2 т с выходом 14.68 %, в 2024 – 25.08 т с выходом 14.51%.

При изучении шестнадцати образцов керна из залежи 1 участка Прозрачный в образце 916202 выявлен переход от серо-зеленого до черного цвета. В тремолите двенадцати образцов различной окраски FeO не обнаружено. В двух серовато-салатных 0-4.64 вес. %, серовато-зеленом – 0.78-1.24 вес. %. Содержание FeO в образце 916202 – 0.82-3.91 вес. %, в черной части доходит до 14.23 вес. %, что отвечает актинолиту. Только в этом образце обнаружены титанит и хроммагнетит.

### Обсуждение

Традиционно считается, что цвет нефрита определяется содержанием железа, его высокая концентрация приводит к черной окраске. Другие причины: примесь графита, пленок гидроксидов железа, молибденита и галенита.

Проведенное исследование образцов юго-восточной части Ковыктинского месторождения показывает, что серая окраска образца 596803 объясняется агрегатами хлорита, заместившего тремолит при метаморфизме. Серый до черного цвет остальных образцов объясняется примесью графита. Мелкие редкие зерна молибденита, галенита, халькозина не влияют на окраску. Повышенное содержание железа в светло-зеленом образце 565901 объясняется его примыканием к амфиболитам [1]. Остальные исследованные образцы состоят из белого тремолита, а нефриты светлых тонов располагаются ближе к контакту с мраморами [1]. Таким образом, серые и черные разности нефрита, чья окраска определяется

примесью графита, располагаются ближе к контакту с доломитом и претерпели меньшее воздействие амфиболитов. Поэтому графит и сохранился в нефрите.

Этому соответствует ассоциация графита с обильными кварцем, апатитом и кальцитом. Кварц не характерен для нефрита Кавоктинского месторождения, для кальцита и апатита обычны единичные мелкие зерна. Кварц отражает наличие терригенной примеси в исходном доломите. Образование апатита объясняется наличием органики животного происхождения. Реликтовый кальцит отражает не столь значительную переработку исходных доломитов.

Графит мог образоваться в результате метаморфизма органики растительного происхождения, образывавшей примесь в доломите. Это следует из аналогичной осадочным породам морфологии слоев, обогащенных графитом. Сингенетичное формирование графита соответствует наличию его включений в ранних минералах - диопсиде и кварце. Откуда органика? В верхнем протерозое было достаточно не только одноклеточных организмов, но и водорослей, грибов. К тому же сейчас уточняется возраст отложений региона в сторону их омоложения [2]. Показано, что отложения располагающейся севернее месторождения Бамбуйско-Олингдинской подзоны Витимкан-Ципинской зоны девонско-нижнекаменноугольные, а не рифейские и венд-кембрийские. Карбонатная бамбуйская, терригенная чулегминская свиты и терригенно-карбонатная кадалинская толща отнесены к девону. Девонский карбонатный комплекс формировался в спокойных условиях мелководного теплого шельфового моря [2].

Другое объяснение – участие в образовании графита глубинного водорода. Нефритоносная зона № 4 и участок Левобережный находятся на обращенных друг к другу крутых склонах прямолинейного участка реки Кавокта. Вероятно заложение русла по глубинному разлому. По этому разлому мог поступать глубинный водород, предположительно участвовавший в нефритообразовании [4, 5]. В ходе замещения доломита силикатами должна была выделяться углекислота. Водород в этом случае вступал в реакцию с углекислотой, образуя воду и графит.

В результате анализа образца 585901, содержащего 0.50 вес. % С, после протравливания кислотой для удаления кальцита, получен изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$  -14.2 ‰.

Соотношение изотопов углерода в органике составляет от -40‰ до -17‰, в среднем -27‰. Утяжелить изотопный состав органики может метаморфизм, удаляющий из нее метан. Но такое воздействие невелико. Изотопный состав углерода  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  контактно-метаморфических графитов Курейского месторождения  $-23.5 \div -25.0$  ‰ сопоставим с  $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$  каменных углей Тунгусского угольного бассейна  $-22.6 \div -25.5$  ‰. При этом в разрезе пласта графита отмечается незначительное утяжеление состава  $\delta^{13}\text{C}_{\text{орг}}$  от -23.5 до -25.0 ‰ к контакту с интрузивом [3].

Значения  $\delta^{13}\text{C}$  морских карбонатных пород значительно более тяжелые от -2‰ до +4‰. В результате анализа образцов керна доломитового мрамора ДН-1083-35,1 и ДН-10466-41,85, отобранных в районе участка Медвежий, получен еще более тяжелый состав  $\delta^{13}\text{C}$  +3.2‰ и +5.2‰. По сравнению с морскими карбонатами углерод мантийного происхождения имеет несколько более низкий изотопный состав углерода  $\delta^{13}\text{C} = -5‰ \pm 2‰$ . Приуроченность черного нефрита к доломитам, а не амфиболитам, отсутствие приразломной графитизации противоречат вкладу мантийного углерода. Поэтому сделан вывод о сочетании двух источников углерода графита в нефрите – захороненной в доломитах органики и разложенной водородом углекислоты.

Черная окраска нефрита в образце 916202 из залежи 1 участка Прозрачный объясняется высоким содержанием железа из-за близкого контакта с эпидот-тремолитовым скарном по амфиболиту – этот образец содержит титанит и хроммагнетит.

**Таким образом, причины черной окраски нефрита различны: включения графита или хлорита, либо повышенное содержание железа в тремолите до актинолита.**

*Автор признателен за предоставленные материалы АО «Забайкальское горнорудное предприятие», персонально А.П. Суздальницкому, С.А. Халтанову, Е.В. Раевской, Д.Б.*

*Шаракшиновой, за выполнение анализов - И.Ю. Котовой, Е.А. Хромовой и Е.В. Ходыревой, за помощь в подготовке материалов - В.В. Вантееву, Д.М. Вурмсу и А.В. Трофимову.*

*Анализы выполнены за счет гранта РНФ № 22-27-20003 с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (Улан-Удэ). Тезисы и доклад подготовлены в рамках темы НИР ГИН СО РАН АААА-А21-121011390003-9.*

### **Библиографический список**

1. Гомбоев Д.М., Андросов П.В., Кислов Е.В. Кавоктинское месторождение светлоокрашенного нефрита: условия залегания и особенности вещественного состава // Разведка и охрана недр. 2017. № 9. С. 44-50.
2. Минина О.Р., Доронина Н.А., Куриленко А.В., Неберикутина Л.Н., Ташлыков В.С. Биостратиграфия девонско-нижнекаменноугольных отложений Бамбуйско-Олингдинской подзоны (Южно-Муйский хребет, Западное Забайкалье) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2023. Т. 31. № 1. С. 3-26.
3. Рябов В.В., Пономарчук В.А. Особенности петрологии Курейского месторождения графита в кровле трапповой интрузии Первого порога (Сибирская платформа) // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. №7. С.955-971.
4. Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С., Секерина Н.В. Месторождения нефрита. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 377с.
5. Филиппова А.А., Мехоношин А.С., Бычинский В.А., Чудненко К.В. Физико-химические особенности флюидов, сформировавших апогипербазитовые и апокарбонатные нефриты // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 3. 168–178.

## **Особенности алмазов из кимберлитовых тел северо-востока Сибирской платформы и проблемы образования россыпей**

*Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д.*

Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), Мирный, Россия, [nzinchuk@rambler.ru](mailto:nzinchuk@rambler.ru)

**Аннотация.** Комплексное исследование алмазов из кимберлитов северо-востока Сибирской платформы (СВСП) показало гетерогенность строения верхней мантии региона. Отдельные её блоки сложены эклогитами и в алмазоносном субстрате продуктивными могут оказаться породы, отличающиеся от кимберлитов и лампроитов. Отсутствие в кимберлитовых трубках СВСП алмазов У и УП разновидностей (по Ю.Л. Орлову, 1984), характерных для многих россыпей региона и кимберлитов Архангельской алмазоносной провинции, позволяет прогнозировать такие диатремы и в северной периферической части региона.

**Ключевые слова:** алмазы, кимберлиты, россыпи.

## **Features of diamonds from kimberlite diatremes of the north-east of the Siberian platform and problem generation placer**

*Zinchuk N.N., Barduchinov L.D.*

West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny, Russia, [nzinchuk@rambler.ru](mailto:nzinchuk@rambler.ru)

**Abstract.** Results of complex investigations of diamonds from kimberlite diatremes of the north-east of the Siberian platform (NESP) testify about heterogeneity of the upper mantle structure of the region. Its individual units may be composed by eclogites and during formation of magmatic hearths in diamondiferous eclogite substrate the rocks differing from typical kimberlites and lamproites by composition may turn out to be productive. Absence of varieties V and VII diamonds (by Y.L. Orlov, 1984) in kimberlite pipes of NESP, typical of many placers of the region and kimberlites of Arkhangelsk diamondiferous province, allows supposing such diatremes presence in peripheral part.

**Keywords:** diamond, kimberlite, placer.

В результате более 60-летних проведенных геолого-поисковых и разведочных работ на алмазы в пределах Сибирской платформы – СП (Якутия и сопредельные территории Иркутской области и Красноярского края) открыто более тысячи кимберлитовых тел (трубок, даек, жил и силлов) и установленные современные россыпи разновозрастные алмазопоявления. Прогнозные и геолого-поисковые работы в здесь проводились на основании ряда критериев (структурно-тектонических, геофизических, шлихо-минералогических и др.), позволяющих изучать особенности глубинного строения земной коры с целью выявления структурно-вещественных неоднородностей, свойственных обычно полям развития алмазоносного магматизма. Поскольку алмаз является главным минералом объектов поиска, представилось возможным привлечь к решению прогнозно-поисковых задач разнообразие его типоморфных особенностей, существенно различающихся в диатремах различного геологического строения [1-4]. Кимберлитовые тела располагаются неравномерно и группируются в 25 полях, которые объединяются в восемь обособленных алмазоносных районов [5-7]. Алмазоносность установлена только в порядка 150 кимберлитовых телах, среди которых промышленно отрабатываются трубки Мир, Интернациональная, Удачная, Айхал, Юбилейная, Зарница, Ботубинская, Нюрбинская, Комсомольская и Краснопресненская. Завершена отработка верхних горизонтов трубок имени XXIII съезда КПСС, Дачная и Сытыканская. Готовятся к промышленной разработке кимберлитовые трубки Дальняя, Иреляхская, Заполярная, Новинка, Комсомольская-Магнитная, Поисковая и др. Россыпи и россыпные проявления различных генетических и морфологических типов установлены в Малоботубинском (МБАР), Среднемархинском (СМАР), Далдыно-Алакитском (ДААР), Муно-Тюнгском (МТАР), Анабарском (ААР), Средне- и Нижнеоленинском, Приленском и других алмазоносных районах. Возраст их различен – от позднепалеозойского и мезозойского до неоген-раннечетвертичного и современного. Промышленная разработка алмазоносных россыпей осуществляется только в МБАР, СМАР, Анабарском и Приленском районах. Несмотря на большие объемы проведенных геологоразведочных работ остаются открытыми вопросы о коренных источниках алмазов богатых россыпей северо-востока СП (СВСП). Отдельными

исследователями предполагается множественность их коренных источников [8], в том числе и докембрийского возраста [9]. Для центральных районов СП (МБАР, ДААР и СМАР) отмечается пространственное совмещение коренной и россыпной рудоносности, что создает дополнительные трудности в составлении корректной оценки перспектив коренной алмазоносности и локализации россыпных ореолов. Для кимберлитовых тел СВСП (преимущественно мезозойского возраста) характерен комплекс особенностей вещественного состава, отличающий их от кимберлитовых тел Центрально-Сибирской алмазоносной субпровинции (ЦСАСП). Кимберлитовые породы здесь представлены интрузивной и эксплозивной фазой, причем среди первых присутствуют мелилит и монтичелит, а также перовскит, апатит и рудные минералы. Среди пород трубок взрыва этой территории основную роль играют кимберлитовые брекчии, но встречаются и порфириновые разности интрузивной фации. Много слюдистых кимберлитов. Характерно невысокое содержание минералов-спутников алмаза (МСА), причем пикроильменит преобладает над пиропом. Пиропы алмазной ассоциации редки. Кимберлиты характеризуются повышенными концентрациями Ti, Fe, P, Al и K. Количество ксенолитов глубинных пород в трубках понижено; в их составе почти не встречаются нодулы алмаз-пироповой фации глубинности. Комплекс типоморфных особенностей алмазов из кимберлитовых тел отличается от кристаллов из разновозрастных россыпей этого обширного региона, в первую очередь, пониженным содержанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа I разновидности и отсутствием кристаллов II, V и VII разновидностей. В этих кимберлитовых телах резко преобладают обычные для кимберлитовых тел ЦСАСП ламинарные кристаллы ряда октаэдр-ромбододекаэдр октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов I разновидности, причем в большинстве трубок содержание октаэдров даже выше, чем в богатых кимберлитовых телах ЦСАСП (ДААР и ВМАР). Это меняет сложившееся мнение о зональности СП по алмазам и о снижении количества октаэдров по направлению с юга на север региона. Каждому полю характерны типоморфные особенности алмазов, а в пределах Омонос-Укукитского поля наблюдается отличие кристаллов двух пространственно-разобщенных кустов трубок (северного – Ленинград и Русловая, южного – Светлана и Лорик). По типоморфным особенностям для алмазов из кимберлитовых тел (рис.1) для северного куста СВСП (*Омонос-Укукитское поле*) характерно повышенное (более 2/3) суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности, и Лорик). Для этой территории характерно повышенное (более 2/3) суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности, представленных преимущественно индивидами с тригональными слоями роста и с полицентрически растущими гранями, также сложенными тригональными слоями роста, что связано с отсутствием признаков природного растворения и с ультраосновной ассоциацией твёрдых включений. Южный куст Омонос-Укукитского поля характеризуется близостью кристалломорфологических особенностей алмазов к северному с резким (42-46 %) преобладанием октаэдров, но отличается повышенным (36,2-36,3 %) содержанием двойников и сростков, кристаллов с признаками природного травления (76,1-84,6 %), более высокой прозрачностью и пониженным (14,6-15,1 %) количеством окрашенных камней, резким (64,0-67,3 %) преобладанием кристаллов с сине-голубой фотолюминесценцией и включений ультраосновного парагенезиса. Это указывает на вариации условий образования алмазов в пределах Омонос-Укукитского поля, при одном из наиболее высоких среди кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов (58,5-67,3 %), сложенных в основном тригональными слоями, являющимися формами роста. Это требует выяснения причин невысокой алмазоносности с позиций более углубленного изучения вещественного состава кимберлитовых пород и глубинных ксенолитов в них в пределах периферийных частей древних платформ. *Чомурдахское поле* (дайка Ан-21/79) характеризуется аномально высоким (70,8 %) содержанием кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов,

сложенных в основном тригональными слоями, являющимися остросереберными октаэдрами. Последние в отличие от богатых кимберлитовых тел МБАР, представлены шпинелевыми двойниками, часто в комбинации с незакономерными сростками, преимущественно с коррозией. Спектр типоморфных особенностей алмазов Ан. 21/79 не имеет аналогов на СП, при их некоторой близости по высокому содержанию двойников и сростков октаэдров к микроалмазам отдельных кимберлитовых тел (30 лет Айхала, трубки имени Бобкова и Щукина) с убогой алмазноностью Алакит-Мархинского поля (АМКП). Трубка Аэрогеологическая (*Верхне-Моторчунское поле*) является наиболее крупной по размерам (17 га) на северо-востоке и четвертой по размерам (после трубок Юбилейная, Зарница и Удачная) на СП и имеет среднепалеозойский возраст. В ней доминируют (60,2 %) кристаллы октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности, при низком (18,9 %) содержании додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации и полном отсутствии типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа. Для них характерна преобладающие зелёная фотолюминесценция и ультраосновная ассоциация твёрдых включений и резкое преобладание беззотных алмазов типа II и промежуточного типа. Кимберлитовые тела с убогой алмазноностью *Куранахского поля* (трубки Университетская и Комарова) заметно отличаются как от трубки Малокуонапская этого поля, так и других трубок СВСП по типоморфным особенностям алмазов. Для них характерна далдыно-алакитская минералогическая ассоциация с преобладанием (24,9 %) ламинарных ромбододекаэдров и при заметном (34,8 %) суммарном содержании кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. При этом среди них преобладают индивиды с занозистой штриховкой. Содержание округлых алмазов низкое (3,7-20,7 %), половину из них составляют додекаэдроиды.

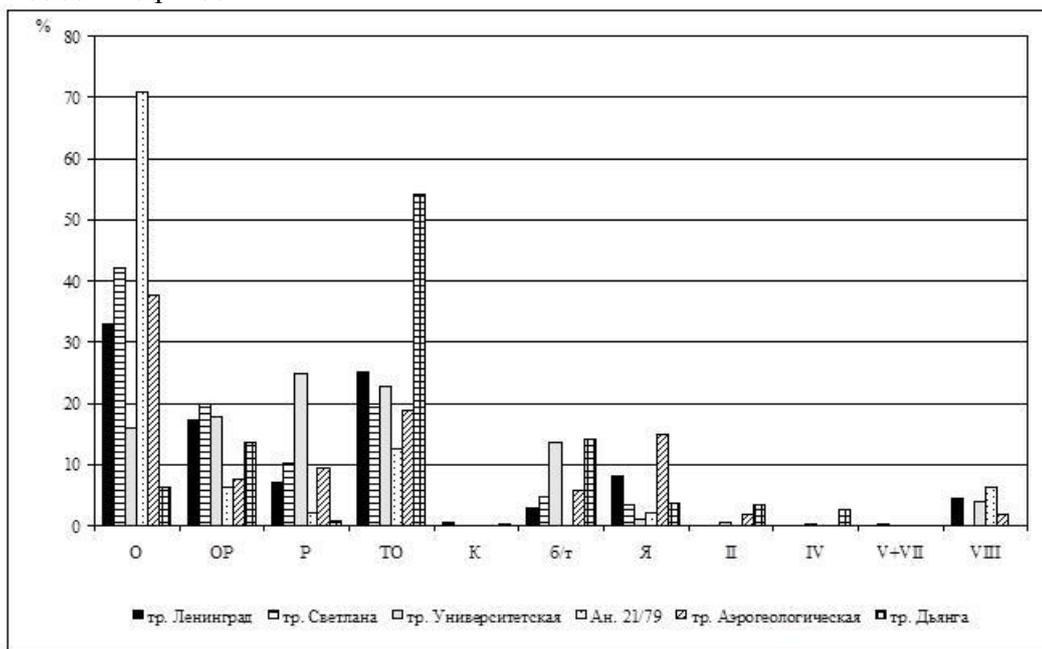


Рисунок 1. Типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел с убогой алмазноностью. I, II, IV, V+ VII, VIII – разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову (O – октаэдры, OP – переходные формы, P – ламинарные ромбододекаэдры, TO – сумма типично округлых алмазов, K – кубы, б/т – осколки, Янусы – янусы).

В пределах *Лучаканского кимберлитового поля* отличаются типоморфные особенности алмазов северного и южного кустов. Для северного куста (трубки Лыхчан, Дама, Поздня и Ан-79а) характерно преобладание бесцветных ламинарных кристаллов ряда октаэдр-ромбододекаэдр, преобладающих над типичными округлыми алмазами I разновидности, при высоком (1/3) содержания двойников и сростков с доминирующей сине-голубой и зелёной фотолюминесценцией. Для южного куста (трубки Отрицательная, Двойная и Флажок) типоморфными особенностями являются высокие для СП содержания бесцветных кубоидов

I разновидности (около 1/4) и своеобразных молочно-белых кубоидов IV разновидности (свыше 1/4) с лёгким ( $\delta^{13}\text{C} = -17-20\text{‰}$ ) изотопным составом углерода при низких, сопоставимых (1/4-1/3) количествах ламинарных кристаллов ряда октаэдр-ромбододекаэдр и типичных округлых алмазов, низким (менее 1/10) содержанием двойников и сростков с преобладающей сине-голубой и жёлтой фотолюминесценцией. Это указывает на различие строения верхней мантии Земли даже в пределах одного кимберлитового поля [13, 14].

Проведенными исследованиями показано, что внедрение в практику прогнозно-поисковых работ современных физико-химических методик изучения вещественного состава магматических и осадочных пород существенно повысила эффективность применяемого шлихо-минералогического метода исследований. Результаты комплексных исследований алмазов из кимберлитовых тел СВСП свидетельствуют о гетерогенности строения верхней мантии. Отдельные ее блоки могут быть сложены эклогитами (в том числе высокоалмазоносными) и при формировании магматических очагов в алмазоносном эклогитовом субстрате продуктивными могут оказаться породы, по составу отличающиеся от типичных кимберлитов и лампроитов. К этому типу кимберлитовых тел можно отнести трубку Дьянга (Куойкское поле) с эклогитовой ассоциацией твердых включений. Аналогичные по составу индикаторных МСА (оранжевые гранаты пироп-альмандинового состава и омфацитовые клинопироксены) составляют не менее 20 % от общего веса тяжелой фракции. Второй блок с эклогитовым субстратом верхней мантии может находиться в пределах Куранахского кимберлитового поля, так как в трубке Малокуонапская не встречены твердые включения ультраосновной ассоциации, а единственное сингенетическое твердое включение инструментально диагностировано диопсидом (эклогитовая ассоциация). Для остальных кимберлитовых тел центральной части Лено-Анабарской субпровинции – ЛААСП (Омонос-Укукитское, Чомурдахское и Верхне-Моторчунское поля) типоморфной особенностью является резкое преобладание кристаллов октаэдрического габитуса I разновидности, не затронутых процессами растворения с ультраосновной ассоциацией твердых включений. Содержание этой группы алмазов заметно выше, чем в кимберлитовых телах ЦАСП, расположенных южнее (Далдынское, Алакит-Мархинское и Верхне-Мунское поля), и не находит объяснения с позиций уменьшения с юга на север содержания в кимберлитах глубинных включений ультраосновных ассоциаций (гарцбургит-дуниты и лерцолиты), при одновременном увеличении в этом направлении шпинель-гранат-лерцолитовых и клинопироксен-гранатовых парагенезисов. Поэтому глубина заложения магматических очагов в Омонос-Укукитском, Чомурдахском и Верхне-Моторчунском полях может оцениваться не меньше, чем в продуктивных кимберлитовых телах ЦАСП, что свидетельствует о высокой вероятности обнаружения в пределах центральной части ЛААСП кимберлитовых тел с более высоким уровнем алмазоносности, чем это установлено на сегодня. Об этом свидетельствуют окислительно-восстановительные условия сохранности алмазов. Благоприятная среда сохранности алмазов характерна и для кимберлитовых тел Куранахского поля, о чем свидетельствует открытая в этом регионе трубка Малокуонапская с полупромышленной алмазоносностью и преобладанием ламинарных кристаллов ряда октаэдр-ромбододекаэдр октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов, при низком содержании типичных округлых алмазов. Вместе с тем трубка Дьянга (Куойкское поле) с эклогитовым парагенезисом алмазов характеризуется аномально-высоким содержанием додекаэдроидов с шагренью и полосами пластической деформации (форма растворения в глубинных условиях), в значительной степени измененных процессами травления (кавернообразования) в процессе автометаморфизма на последних стадиях формирования кимберлитовых тел в пневматолитово-гидротермальную стадию. Следует особо отметить, что среди нескольких тысяч изученных алмазов из кимберлитовых тел ЛААСП отсутствуют типоморфные для разновозрастных россыпей от поздне триасового до современного возрастов этого региона кристаллы V, VII, а также II в ассоциации с типичными округлыми алмазами I разновидностей. Это является свидетельством вероятного нахождения их коренных источников в наиболее периферийной части СП - в погруженной

части Приверхоянского и Лено-Анабарского прогибов. Подтверждением этому является близость типоморфных особенностей алмазов краевых частей из кимберлитов Восточно-Европейской и россыпей северо-восточной окраины Сибирской платформы.

#### **Библиографический список**

1. Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А., Зинчук Н.Н. и др. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов У и УП разновидностей (по классификации Ю.Л.Орлова) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. 2000. №-5. С.79-97.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. №-1. С.90-96.
3. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Соколов В.Н. Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. М.: ИГЕМ АН СССР. 1980. С.45-54.
4. Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Логвинова А.М., Зинчук Н.Н. и др. Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. 2000. Т.41. №-12. С.1729-1741.
5. Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1998. №-2. С.66-71.
6. Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Соколов В.Н. Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. 1982. №-2. С.42-53.
7. Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1998. №-2. С.66-71.
8. Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геол.-минерал. наук.-ИГМ СО РАН.-Новосибирск. 1994. 25 с.
9. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. 2001. №-12. С.45-51.
10. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологич. 2001. Т.76. №-1. С.45-53.
11. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. 2003. №-2. С.57-68.
12. Мацок С.С., Зинчук Н.Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра. 2001. 428 с.
13. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. М.: Недра. 2001. 198 с.
14. Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V., Manakov A.V., Zinchuk N.N. Yakutian kimberlite position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. 2002. V.43. №-1. pp.3-26..

## Кварц-диамант

*Г.А. Юргенсон*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, e-mail: yurgga@mail.ru

**Аннотация.** Приведены сведения о кристаллах кварца, обладающих ярким алмазоподобным блеском. Главная масса таких кристаллов представлена скелетными формами. Они образуются в условиях, характеризующихся присутствием углерода. Обычно это полости различных форм в каменных углях или угленосных сланцах и песчаниках. Приведены примеры таких кристаллов их месторождений каменных углей Нюренгринского, Апсатского месторождений в Верхоянской угленосной провинции.

**Ключевые слова:** кварц, кварц-диамант, скелетный кристалл, месторождения каменных углей.

## Quartz Diamond

*G.A. Yurgenson*

Institute of Natural Resources, Ecology, and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, e-mail: [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

**Abstract.** Information is provided about quartz crystals that possess a bright diamond-like luster. The main mass of such crystals is represented by skeletal forms. They form under conditions characterized by the presence of carbon. Typically, these are cavities of various shapes in coal or carbon-bearing shales and sandstones. Examples of such crystals from the coal deposits of the Nyurengri and Apsat deposits in the Verkhoyansk coal province are given.

**Keywords:** quartz, quartz-diamond, skeletal crystal, coal deposits.

На рынках коллекционного камня в Европе уже в XIX веке были известны так называемые мармарошские диаманты из песчаников и сланцев в местности Мармарош в Венгрии, представляющие собою короткостолбчатые бесцветные кристаллы кварца, отличающиеся интенсивным блеском и слабо выраженной игрой за счет тонкоступенчатой скульптуры граней большого ромбоэдра. Подобные кристаллы кварца известны также из округа Херкимер и района Лейк-Джордж в штате Нью-Йорк США как «херкимерские диаманты» и «лейк-джордские диаманты» [1, с. 247]. Кроме того, в США по данным этих же авторов широко распространены так называемые «кейп-мейские» и «арканзаские» «диаманты». Во Франции известны «брианонские» и «аленсонские» диаманты, а в Англии «бристольские диаманты» и «корнуоллские диаманты», в Германии – «шаумбергские».

Эти кристаллы имеют обычно псевдогексагональный облик с хорошо развитыми гранями ромбоэдров и узкой полоской грани призмы. Нередко они имеют скелетное строение. Прекрасные образцы кварца Нерюнгринского месторождения в угольных месторождениях Верхоянья находятся в минералогической коллекции Геологического музея Казанского университета [4]. Первые описания их приведены в [2 – 4].

Сверкающие кристаллы дымчатого кварца различной интенсивности окраски были обнаружены в больших количествах на контакте темно-серых песчаников и каменных углей, а также в песчаниках с пропластками угля и прожилками углисто-битумного состава одного из крупнейших в России Нерюнгринского месторождения каменных углей. Они приурочены к тектоническим зонам, секущим пласты углей.

Обычно кристаллы его хорошо образованы (рис.1), но большинство граней имеют ступенчатые неровности, а некоторые вообще представляют собою скелетные кристаллы.

Нередко они имеют скипетровидный облик, как это видно на рис. 2. Головка кристалла неоднородна и имеет щелевидные углубления на участке, где кристаллу в процессе роста пришлось обходить препятствия в виде включения обломка или выступа песчаника. Включения тонкозернистого песчаника находятся и в начале формирования скипетра. Кристалл участками разлагает свет в спектр и выглядит очень эффектно, как «диамант».



Рисунок 1. Кристалл кварца-диаманта с хорошо оформленными гранями ромбоэдров и узким поясом граней тригональной призмы. Нерюнгринское месторождение. Фото В.Г. Дианова



Рисунок 2. Скипетровидная головка светло-дымчатого кристалла. Образец 18 НД, 3.5 x 2.1 см.

Иногда в прозрачных кристаллах наблюдаются мелкие включения углистого вещества. Величина кристаллов различна. Но обычно они бывают не более 5 см в длину. А чаще всего длина их находится в пределах 0,5 – 3 см. Они могут быть бесцветными, но большая из наблюдаемых автором кристаллов светло-дымчатые. Фрагмент бесцветного кристалла белого цвета из песчаника в каменных углях Апсатского месторождения представлен на рисунке 3. На гранях многих кристаллов развиты ступенчатые углубления. Они образовались в местах соприкосновения растущего кристалла с вмещающим песчаником, препятствовавшим проникновению минералообразующего флюида, формированию кристаллитов и сложению из них плоских граней. Подобные ступенчатые углубления хорошо видны на рис. 4, где вся грань одного из больших ромбоэдров осложнена ступенчатой вициналью роста вследствие недостаточного поступления минералообразующего флюида.



Рисунок 3 Фрагмент кристалла кварца из угленосных песчаников месторождения Апасат, Северное Забайкалье. Размеры 2,5х2,5 см.



Рисунок 4. Скипетровидная головка светло-дымчатого кристалла, осложненная ступенчатыми отрицательными формами роста. 3.7 x 1.8 см. Нерюнгри

Кристаллы кварца преимущественно находятся на контакте песчаников и углей, а также в тонких трещинах в песчаниках в ассоциации с углисто-битумным материалом. В песчаниках на свежих сколах видны новообразования кварца, проявленные в их укрупнении. В жильных полостях кристаллы такого кварца образуют щетки, длина кристаллов в которых обычно находится в пределах 1–3 мм. Но иногда это – небольшие полости, в которых формируются хорошо оформленные кристаллы до 5 см в длину (рис. 5).



Рис. 5. Полость в песчанике с кристаллами кварца. Нерюнгри.

О гидротермальной природе растворов, двигавшихся с глубинных частей разреза, подстилающих песчаников свидетельствует присутствие в них относительно высоких содержаний висмута, сурьмы и мышьяка, обычно сопровождающих рудоносные жильные тела, которые могут находиться на глубинах и связаны с магматизмом. Поэтому следует изучить подстилающие угли толщу песчаников на возможность обнаружения месторождения золота.

### **Библиографический список**

1. Дэна Дж., Дэна Э.С., Фрондель К. Система минералогии. Т. III. Минералы кремнезема. М.: Мир, 1966. – 430 с.
2. Юргенсон Г.А. Ювелирные и поделочные камни Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 2001. – 390 с.
3. Юргенсон Г.А. Ювелирные камни Забайкалья. Часть 2. Перспективные проявления. Чита: Изд-во Забайкальского государственного университета, 2017. – 152 с.
4. Юргенсон Г.А. Минералогическая коллекция геологического музея им. А.А. Штуkenберга Казанского университета // В мире минералов: Минералогический альманах. Т.24, вып.3, 2019. С. 4 – 52.

### 3. Минералого-геохимические процессы в ландшафтах

УДК 550. 461

#### **Гидрогеохимия зоны окисления сульфидных руд: распределение РЗЭ и тяжелых металлов на месторождении Шануч (Камчатский край).**

*Vakh E.A.<sup>1</sup>, Vetroshkina A.V.<sup>1</sup>, Revenko M.A.<sup>2</sup>, Gusarova V.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия, e-mail: [Adasea@mail.ru](mailto:Adasea@mail.ru)

<sup>2</sup>Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия, e-mail: [mashasharrevenko@gmail.com](mailto:mashasharrevenko@gmail.com)

**Аннотация.** Изучен состав подземных и поверхностных вод, формирующихся в зоне гипергенеза сульфидных руд месторождения Шануч (Камчатский край). Результаты показали высокие концентрации никеля, меди, кобальта и других микроэлементов в рудничных и болотных водах, особенно в зоне окисления сульфидных руд, где концентрация РЗЭ может достигать 42,75 мкг/л.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, месторождение Шануч, Камчатский край.

#### **Rare earth elements as markers of the ecological situation on the example of the Shanuch deposit Kamchatka.**

*Vakh E.A.<sup>1</sup>, Vetroshkina A.V.<sup>1</sup>, Revenko M.A.<sup>2</sup>, Gusarova V.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Far Eastern Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia, e-mail: [Adasea@mail.ru](mailto:Adasea@mail.ru)

<sup>2</sup>Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia, e-mail: [mashasharrevenko@gmail.com](mailto:mashasharrevenko@gmail.com)

**Abstract.** The composition of underground and surface waters formed in the hypergenesis zone of sulphide ores of the Shanuch deposit (Kamchatka Krai) was studied. The results showed high concentrations of nickel, copper, cobalt and other microelements in mine and swamp waters, especially in the oxidation zone of sulphide ores, where the concentration of REE can reach 42.75 µg/l.

**Keywords:** rare earth elements, Shanuch deposit, Kamchatka Krai.

Месторождение Шануч, расположенное в Камчатском крае, представляет собой важный геолого-экономический объект, который привлекает внимание как в связи с наличием медно-никелевых оруденений, так и в контексте изучения экологического состояния природной среды в районе добычи полезных ископаемых. Геологическая структура района характеризуется сложными тектоническими и литологическими особенностями, включая домеловые углеродсодержащие сланцы, гнейсы, метатерригенные породы и гранитоидные интрузии, что создает благоприятные условия для формирования рудных тел с высокими концентрациями никеля, меди и кобальта [1]. Помимо этого, здесь также встречаются платина, палладий и золото, что усиливает привлекательность месторождения для горнодобывающей промышленности [2].

Одной из важнейших особенностей этого региона является его гидрогеологическая ситуация. Территория месторождения расположена вблизи артезианского бассейна и крупного гидрогеологического массива, что создает особые условия для циркуляции подземных вод. Гидрогеохимические процессы, протекающие в этой зоне, существенно зависят от характеристик окружающих пород, их трещиноватости и минерализации, а также от влияния горнодобывающей деятельности. Сбросы в водоемы и деградация качества водных ресурсов являются важным аспектом, требующим комплексного подхода к мониторингу и охране окружающей среды.

Целью настоящего исследования является изучение химического состава подземных и поверхностных вод в зоне гипергенеза сульфидных руд месторождения Шануч, а также оценка воздействия горнодобывающей деятельности на гидрогеохимические системы региона. Особое внимание уделяется распределению редкоземельных элементов в водах и их аномальным характеристикам, связанным с процессами окисления и фильтрации. Результаты данного исследования позволяют не только уточнить геохимическую картину района, но и выработать рекомендации по минимизации воздействия промышленной деятельности на экосистему и водные ресурсы.

Исследование районов, подверженных трансформации вследствие горнодобывающей деятельности, всегда актуально, поскольку загрязнение водной среды оказывает существенное влияние на другие компоненты природной среды (почвы, растительность и др.). Такие изменения могут иметь долгосрочные последствия для экосистем и здоровья местного населения.

Медно-никелевое месторождение Шануч расположено в юго-западной части Быстринского муниципального района Камчатского края, на расстоянии около 280 км к северо-западу от краевого центра - города Петропавловска-Камчатского. Месторождение входит в северную часть Камчатской никеленосной провинции и находится на северном склоне горного массива Верхняя Тхонжа – водораздел между р. Ича и ее притоком р. Шануч [3].

В рамках настоящего исследования использованы материалы, собранные в ходе полевых работ на территории Шанучского медно-никелевого месторождения летом 2017 и 2024 годов. Работы проводились с целью изучения миграции химических элементов в условиях техногенного воздействия. Отбор проб производился в различных зонах месторождения, включая подземные и рудничные воды, воды прудов-отстойников, болотные воды, а также воды рек Ича и Шануч.

Водные пробы отбирались в полиэтиленовые емкости 250 мл, которые во время полевых работ хранились в холодильнике. Подготовка проб воды к анализам выполнялась в лаборатории геохимии Дальневосточного геологического института ДВО РАН. В нефильтрованной пробе измерялась электропроводность, выполнялись определения pH и количества HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Каждая проба фильтровалась через мембранный фильтр (0,45 микрон) с помощью вакуумного насоса и разливалась в две пробирки (полипропилен) емкостью 50 мл. Одна из пробирок подкислялась особо чистой азотной кислотой. Далее пробы воды направлялись в Аналитический центр коллективного пользования при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН. Концентрации элементов определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) с использованием спектрометра Agilent 7700x, а также методом атомно-эмиссионной спектрометрии на приборе iCAP 7600 Duo. Анионный состав исследовался методом ионной хроматографии с использованием хроматографа LC-20 (Shimadzu). Для интерпретации и анализа данных проводился стандартный анализ среднестатистических параметров с использованием программы Excel, SigmaPlot 12.0.

По химическому составу подземные трещинно-жильные воды, отобранные внутри подземной горной выработки, представляют собой гидрокарбонатно-сульфатные натриево-магниевые-кальциевые воды с общей минерализацией от 340 до 578 мг/л. Показатели pH вод варьируются от 7,5 до 7,7, что указывает на щелочной характер воды. Содержание Si (кремния) изменяется в пределах от 4,2 до 4,92 мг/л (таб. 2), что свидетельствует о присутствии силикатных минералов, таких как кварц и др., в водовмещающих породах. По микроэлементному составу, собранные в районе исследования пробы воды, наиболее сильно (на десятки, тысячи и даже на десятки тысяч порядков) различаются от фоновых значений в воде р. Шануч, по содержанию: Ni (от 1089–1722 мкг/л), Fe (247,4–3723), Sr (661,1–814,8), Mn (75,2–270,6), Li (32,92–58,95), Zn (1,38–58,45), Al (36,18–38,53), Rb (3,98–11,37), Ba (12,84–25,66), Co (12,20 до 14,24), Cu (0,66–6,69), U (0,24–1,29), Cs (0,24–0,83), а также по всем REY+Sc (0,29–1,77). Максимальные концентрации большинства перечисленных микроэлементов обнаружены в пробах вод, отобранных внутри подземных выработок, на выходе из верхнего горизонта. Это указывает на активное химическое выщелачивание и миграцию микроэлементов из пород в водную среду.

Рудничные воды, отобранные на выходе из штольни и стекающие в пруд отстойник, по составу: сульфатные, магниевые-кальциевые-натриевые, с общей минерализацией от 700 до 998 мг/л. Показатели pH вод колеблются от 5,11 до 7,28. Содержание Si варьируется 3,76 – 6,17 мг/л. характеризуются высокими концентрациями рудных элементов, максимальные содержания которых в растворенной форме достигает: Ni (от 34406–127778 мкг/л), Fe (4097–

11000), Mn (1965–6883), Sr (283,8–773,6), Co (567 до 1753), Al (27,88–701,4), Cu (1,97–196,6), Zn (40,98–166), Ba (16,68–80,85), Li (13,86–36,86), Rb (12,06–33,56), U (0,36–31,86), Cs (2,03–8,21), Se (0,58–6,89), а также лантаноиды плюс иттрий и скандий (REY+Sc) - (1,7–76,1).

Для выявления превышений, был проанализирован макро- и микро- состав по основным рекам изучаемого района, незатронутых процессом техногенной деятельности. Они берут свое начало вблизи главного водораздела Срединного хребта с вершин, покрытых снежниками и местами ледниками, принадлежат бассейну Охотского моря. Месторождение располагается в верхней части бассейна реки Ича и находится большей частью на водосборе ее правобережного притока - р. Шануч. Пробы вод, отобранные в районе реки Ича, Кирганик и Шануч, показали низкие значения минерализации от 33,3 до 55,5 мг/л (ультрапресные). По составу главных компонентов воды гидрокарбонатно-кальциево-натриевые и гидрокарбонатно-кальциево-магниевые. В составе микроэлементов самые высокие показатели в таких водах: Ni (от 10,25–105,6 мкг/л), Fe (126,1–251,8), Mn (2,62–9,08), Sr (10,46–47,28), Co (0,21 до 1,41), Al (16,18–32,81), Cu (2,14–3,11), Zn (0,95–3,42), Ba (1,15–5,61), Li (0,8–1,1), Rb (0,82–2,18), Cr (0,21–1,41), а также по всем REY+Sc (0,08–0,09). По остальным микроэлементам все значения ниже 1 мкг/л. По содержанию РЗЭ показатели существенно ниже мирового фона по рекам [5].

Внизу исследуемой территории находится Шанучское болото, которое примыкает к подножью горы Тхонжа в зоне воздействия горно-добычного участка. Площадь болота составляет 0,92 км<sup>2</sup>. Питание болота происходит за счет стекающих с горы ручьев, в том числе временных, и за счет шахтных вод. С севера болото ограничено руч. Саматкин, левым притоком р. Шануч. Болото низинного типа, является проточным, в него разгружается несколько мелких, преимущественно временных, ручьев, стекающих с северо-западного склона горы Верхняя Тхонжа, в том числе с территории горно-добычного участка. Воды ручьев впадают в Шанучское болото и после фильтрации через торфяник попадают в руч. Саматкин и далее в реку Шануч. По химическому составу воды - кислые (рН 4,07–4,7), сульфатные кальциево-магниевые. С общей минерализацией - 1020–1213 мг/л. Сток взвешенных веществ на болоте, формируется из транзитных, переносимых со всего водосбора, и местных отложений, аллювиальных и эоловых наносов. Также обнаружены высокие концентрации рудных элементов, что типично для таких вод: Ni (от 76910–98359 мкг/л), Fe (5799–6910), Mn (5151–7990), Sr (318,5–413,9), Co (1184–1602), Al (526,6–1909), Cu (120–286,2), Zn (104,3–145,7), Ba (24,18–48,64), Li (28,21–56,18), Rb (24,47–30,40), U (10,21–26,00), Cs (4,43–5,33), Se (1,93–3,35), а также по всем REY+Sc (47,2–48,8). В целом для рудничных вод, как и для всех поверхностных, характерно преобладание группы легких РЗЭ (59,1 – 72,7 %). По отношению к поверхностным водам р. Шануч превышение концентраций РЗЭ в рудничных водах штольни составляет порядка 1000 раз. При этом, для трещинно-жилльных вод месторождения характерны крайне низкие содержаниями РЗЭ (0,14–1,23). Полученные результаты свидетельствуют о том, что процесс обогащения водных сред РЗЭ в основном происходит в процессе формирования кислых сульфатных рудничных вод.

Изучение характера распределений растворимых форм РЗЭ в подземных и поверхностных водах, нормированных к хондриту, показывает, что все изученные образцы вод делятся по конфигурации на две группы (рис. 1). Первая группа подземные и речные воды, у них одинаковые профиль распределения РЗЭ, так как они у них один источник питания вод. Вторая группа рудничные воды и болото, они образуют похожие профили, который больше отражает состав вмещающей породы. Профили распределения РЗЭ в водных пробах определяются наличием отрицательной цериевой аномалии (Ce/Ce\* – 0,46–0,97), а также незначительным разбросом соотношений между легкими и тяжелыми РЗЭ (Lan/Ybn – 0,33–2,12). Для рудничных и болотных вод ярко выражена отрицательная европиевая аномалия (Eu/Eu\* – 0,38–0,85), а для речных и подземных - положительная (Eu/Eu\* – 1,13–1,46). В целом, по мере уменьшения содержаний РЗЭ в водных средах, связанных с разбавлением рудничных вод грунтовыми водами и атмосферными осадками, профиль распределений

элементов в этой области принимает стандартный вид, с постепенным уменьшением концентраций от La к Eu.

Для подземных и поверхностных вод, с фоновыми концентрациями редкоземельных элементов, профили распределений РЗЭ сопоставимы с профилем распределений РЗЭ в породах месторождения. В них фиксируется слабо проявленная отрицательная цериевая аномалия, которая в целом характерна для пресных вод водотоков Дальнего Востока [4].

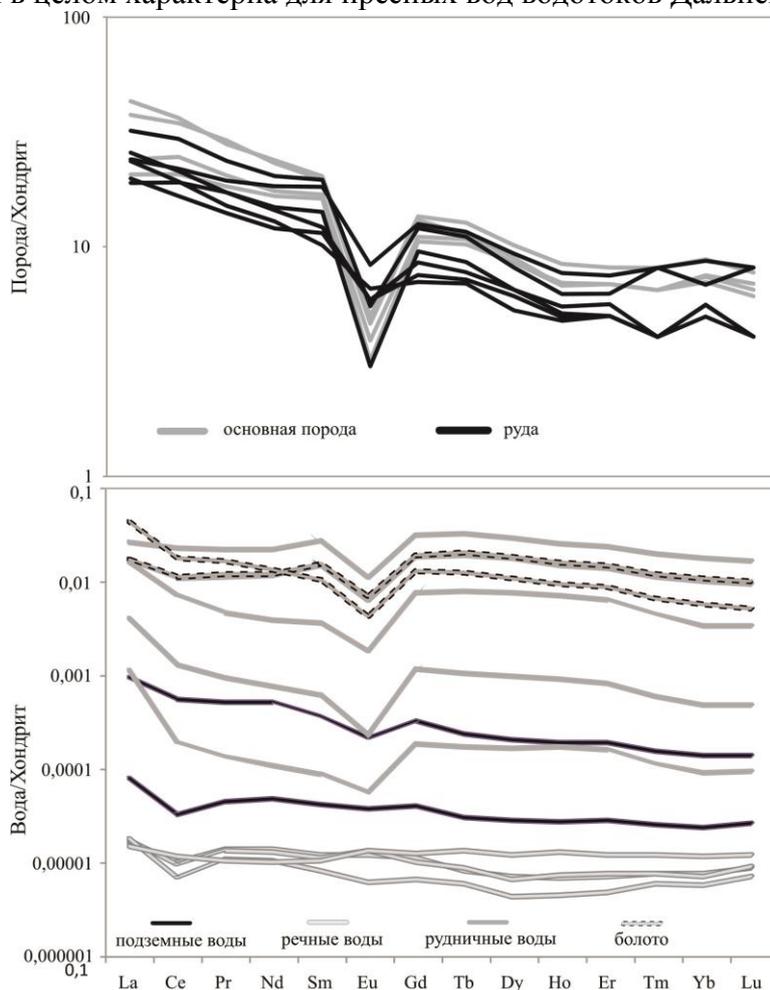


Рисунок 1. Профили распределения концентраций редкоземельных элементов в породах и водных средах месторождения Шануч, нормированные к хондриту.

Подземные воды месторождения Шануч – как продукт системы физико-химического взаимодействия вода-порода при значительном участии атмосферного воздуха в процессе окисления сульфидных минералов руд способствуют формированию рудничных вод, которые содержат в растворенных формах высокие концентрации тяжелых металлов и РЗЭ.

Результаты гидрогеохимического исследования подземных и поверхностных вод в зоне гипергенеза сульфидных руд показали высокие концентрации различных элементов, включая никель (Ni), железо (Fe), марганец (Mn), кобальт (Co), алюминий (Al), стронций (Sr), медь (Cu), цинк (Zn), уран (U), а также редкоземельные элементы (РЗЭ) и скандий (REY+Sc). Концентрации этих элементов в рудничных водах и болотах месторождения значительно превышают фоновый уровень, особенно в водах, отбираемых на выходе из штольни, где концентрации РЗЭ достигают 42,75 мкг/л. В то же время, в пробах, отобранных в центре штольни, концентрации РЗЭ значительно ниже (около 3,01 мкг/л), что подтверждает влияние геохимических процессов и фильтрации на распределение этих элементов.

Исследование профилей распределения РЗЭ в водах показало две отчетливо различающиеся группы. Первая группа включает подземные и речные воды, которые имеют схожий профиль распределения РЗЭ, поскольку эти воды питаются из одного источника. Вторая группа включает рудничные воды и болота, где профиль распределения РЗЭ

отражает состав окружающих пород и процессы, происходящие в зоне окисления сульфидных руд. Важно отметить, что рудничные и болотные воды характеризуются слабой отрицательной цериевой ( $Ce/Ce^* - 0,46-0,97$ ) и отрицательной европиевой аномалией, в то время как подземные и речные воды показывают отчетливую отрицательную цериевую аномалию и небольшую положительную аномалию европия ( $Eu/Eu^* - 1,13-1,46$ ).

Кроме того, в рудничных водах наблюдается высокая концентрация тяжелых металлов, таких как никель, медь, марганец и кобальт, что может быть связано с особенностями сульфидных руд и процессами их окисления. Присутствие таких элементов в значительных концентрациях в водах зоны окисления может оказывать серьезное влияние на окружающую среду, что требует разработки эффективных методов контроля и очистки вод в районе месторождения.

Результаты также показали, что профили распределения РЗЭ в рудничных водах изменяются при разбавлении водой с грунтовыми водами и атмосферными осадками. Это может свидетельствовать о том, что процессы фильтрации и взаимодействие вод с окружающими породами способствуют вымыванию более легких элементов и накоплению более тяжелых, таких как европий и церий.

Важным аспектом исследования является выявление значительных изменений в химическом составе вод, связанных с горнодобывающей деятельностью. Низинный болотный массив и ручьи, стекающие с горного массива, играют важную роль в изменении качества воды в реке Шануч. Эти экосистемы взаимодействуют с промышленной деятельностью, что может привести к ухудшению качества водоемов в области влияния добычи.

*Авторы выражают признательность администрации АО НПК "Геотехнология" генеральному директору Гергелюку Р.Г. и главному геологу Лебедеву А.Г. за предоставленную возможность работы на территории месторождения "Шануч".*

*Данная работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-27-00304 «Влияние современного техногенеза на поведение РЗЭ в системе «вода-порода-донные отложения» на примере Cu-Ni месторождения Шануч (Камчатка)», <https://rscf.ru/project/24-27-00304/>.*

#### **Библиографический список**

1. Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Эколого-геохимические изменения компонентов природной среды территории медно-никелевого месторождения (Центральная Камчатка) // География и природные ресурсы. 2019. № 3. – С. 49-59.
2. Литвиненко Ю. С., Захарихина Л. В. Динамика эколого-геохимических изменений природных вод и почв на разных этапах освоения Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2015. № 3. – С. 80-91.
3. Степанов В.А., Гвоздев В.И., Трухин Ю.П. Минералы благородных и редких металлов в рудах Шанучского медно-никелевого месторождения (Камчатка) // Записки Российского минералогического общества. 2010. Т. 139. № 2. – С. 43-58.
4. Чудаев О.В., Харитонов Н.А., Челноков Г.А., Брагин И.В., Калитина Е.Г. Геохимические особенности поведения редкоземельных элементов в водах Дальнего Востока России в условиях природных и антропогенных аномалий // Владивосток: Дальнаука. 2017. – 152 с.
5. Gaillardet J. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in rivers waters. Treasure on Geochemistry. 2004. vol. 5, pp. 225-272.

**Особенности микростроения и состава почв геотехногенных ландшафтов  
Джидинского вольфрамового месторождения (Западное Забайкалье)**

*Дорошкевич С.Г.<sup>1</sup>, Чередова Т.В.<sup>1</sup>, Шешукова А.А.<sup>2</sup>, Филенко Р.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, dorosh@ginst.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, a\_mogutova@mail.ru

<sup>3</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, filrom@yandex.ru

**Аннотация.** Приведены данные о микроморфологическом строении, минеральном и химическом составе почв геотехногенных ландшафтов Джидинского вольфрамового месторождения Забайкалья. По сравнению с естественными почвами в техногенно измененных почвах увеличилась плотность микроагрегатов, увеличилось количество железистых новообразований и выветрелых минералов, возросло содержание потенциально опасных химических элементов. Наиболее высокое содержание Cd, Zn, F, Mo, Cu, Ni, As, Co, Pb в почвах приурочено к верхним органогенным горизонтам, что свидетельствует об их техногенном загрязнении.

**Ключевые слова:** Вольфрамовое месторождение, загрязненные почвы, микроморфологическая структура, минеральный и химический состав.

**Features of the microstructure and composition of soils of geotechnogenic landscapes of the  
Dzhidinsky tungsten deposit (Western Transbaikalia)**

*S.G. Doroshkevich<sup>1</sup>, T.V. Cheredova<sup>1</sup>, A.A. Sheshukova<sup>2</sup>, R.A. Filenko<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Geological Institute Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia, dorosh@ginst.ru

<sup>2</sup>St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, a\_mogutova@mail.ru

<sup>3</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, filrom@yandex.ru

**Abstract.** The article presents data on the micromorphological structure, mineral and chemical composition of soils of geotechnogenic landscapes of the Dzhidinsky tungsten deposit (Western Transbaikalia). In the technogenic soils in comparison with natural soils the density of microaggregates increased, the amount of ferrous neoplasms and weathered minerals increased, the content of potentially dangerous chemical elements increased. The highest content of Cd, Zn, F, Mo, Cu, Ni, As, Co, Pb in soils is confined to the upper organogenic horizons, which indicates their technogenic pollution.

**Keywords:** Tungsten deposits, Contaminated soils, Micromorphological structure, Mineral and chemical composition

В районах разработки месторождений полезных ископаемых активизируются процессы горнопромышленного техногенеза, сопровождающиеся образованием ореолов техногенного рассеяния химических элементов, изменением миграционных циклов вещества в геосистемах. Почвы, являясь компонентом ландшафта, отражают процессы, происходящие в биогеосистеме. Направленность и интенсивность протекания их связаны с химическим составом почв, физико-химические свойства – от минерального состава. Микроморфологическое изучение структуры почвы в сочетании с другими методами исследования позволяет выявить внутривертикальную миграцию химических элементов и диагностировать формы их присутствия.

Цель наших исследований – изучение микроморфологического строения, минерального и химического состава почв геотехногенных ландшафтов.

В качестве объектов исследований были выбраны аллювиальные почвы геотехногенных ландшафтов Джидинского вольфрамо-молибденового комбината (Западное Забайкалье): (1) аллювиальные болотные почвы территории насыпного и наливного хвостохранилищ, длительное время перекрытые отходами обогащения руд. В верхней части почвенного профиля для них характерно наличие темно-серого перегнойного горизонта до 30 см с содержанием органического вещества 47-52% высокой степени разложения. Нижележащие горизонты представлены минеральной толщей разной степени оглеения. Реакция почв – сильноокислая-кислая в верхней части и кислая в нижней части профиля; (2) аллювиальные луговые почвы участка разгрузки кислых рудничных вод штольни Западная. Гумусовый горизонт аллювиальных луговых почв имеет мощность 15-25 см, серого или темно-серого цвета, легко- или среднесуглинистый. По профилю присутствуют признаки оглеения,

отмечающиеся в виде Mn-Fe-конкреций и сизоватых пятен. Реакция почв – нейтральная. Содержание гумуса в гумусовом горизонте находится в пределах 1,5–4,0 %. Пробы почв отбирали по генетическим горизонтам. Микроморфологическое строение и минеральный состав прозрачных шлифов описывали с помощью петрографических микроскопов «ПОЛАМ Р-113», «ПОЛАМ Л-213», «OLYMPUS BX 51». Микроморфологическое описание сделано на кафедре почвоведения и экологии почв Института наук о Земле СПбГУ (Санкт-Петербург). Термоисследования проб почв проводили на аппарате STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH в лаборатории геохимии и рудогенеза ИПРЭК СО РАН (Чита). Содержание химических элементов определяли химико-спектральными и рентгенофлуоресцентным методами в Центре коллективного пользования ГИН СО РАН «Геоспектр» (Улан-Удэ).

В микростроении изученных почв выделены общие характерные особенности (рисунок): 1) скелетная часть представлена преимущественно окатанными, полуокатанными формами зерен минералов и обломков горных пород; материал хорошо сортирован; 2) повсеместно отмечены полигональные структуры, криогенная микроагрегация и криотурбация; 3) растительные остатки средней и сильной степени разложения, ожелезнены, встречаются обугленные растительные остатки; 4) минеральные новообразования представлены железистыми пятнами, хлопьями, микроортштейнами, мелкими железисто-марганцевыми конкрециями, железистыми пленками по поверхности и трещинам зерен минералов и обломков горных пород.

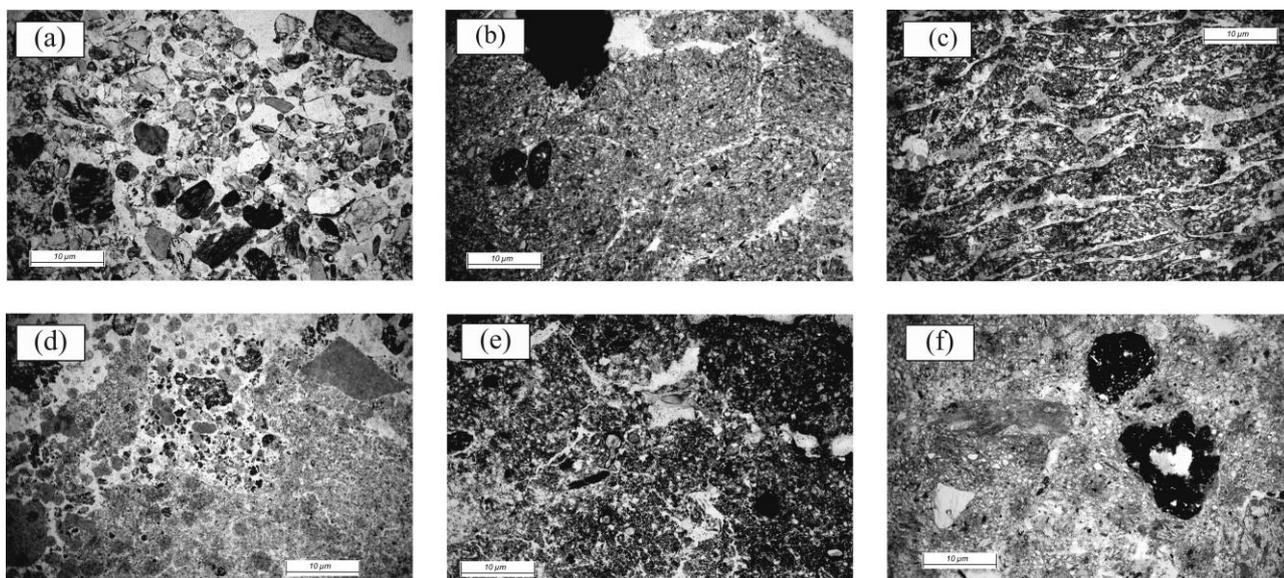


Рисунок. Характерные особенности микростроения почв природных и геотехногенных ландшафтов Джидинских месторождений: *a* – форма зерен минералов и горных пород (ник. //); *b* – полигональная структура агрегатов (ник. //); *c* – криогенная микроагрегация (ник. X); *d* – криотурбация (ник. //); *d* –растительные остатки: ожелезненные средней и слабой степени разложения, обугленные (ник. //); *e* – железистые пятна, железистые пленки по поверхности и трещинам зерен скелета (ник. //).

Отходы горно-обогатительного производства длительное время перекрывающие почвы оказали влияние на ее микростроение: увеличилась плотность сложения микроагрегатов; возросло количество железистых хлопьев и микроортштейнов; появились сплошные железистые пленки по поверхности зерен скелета. В микростроении почв на территории разгрузки рудничных вод штольни в сравнении с микростроением почв фонового участка выявлено увеличение степени ожелезнения – возросло количество железистых пятен, хлопьев, микроортштейнов, по поверхности зерен скелета сформированы сплошные железистые пленки, краевые зоны микроагрегатов почв обогащены гидроксидами железа. Вышеперечисленные изменения отмечаются во всех генетических горизонтах почв; вниз по почвенному профилю интенсивность их проявления увеличивается.

Основными породообразующими минералами скелетной части почв фоновых участков являются кварц и полевой шпат. Полевой шпат аллювиальных болотных почв

серицитизирован и пелитизирован, аллювиальных луговых почв – частично. В аллювиальных болотных почвах встречаются гидромусковит, амфибол, хлорит, эпидот, гидроокислы железа; в качестве акцессорных – гидробиотит, циркон, рутил, пироксен, сфен, доломит, апатит, гранат. Редкие знаки рудных минералов отмечены в нижней части почвенного профиля; приурочены к почвообразующей породе. Зерна отдельных минералов интенсивно ожелезнены или хлоритизированы; такие изменения часто происходят по трещинам. В аллювиальных луговых почвах встречаются амфибол, мусковит, биотит; в качестве акцессорных – гидромусковит, гидробиотит, сфен, пироксен, гидроокислы железа, рутил, циркон, апатит.

В минеральном составе почв геотехногенных ландшафтов Джидинского вольфрамового месторождения в сравнении с минеральным составом почв фоновых участков выявлены некоторые особенности. В аллювиальных болотных почвах территорий бывших хвостохранилищ отмечено большее количество зерен гидромусковита, гидробиотита, гидроокислов железа и рудных минералов. В аллювиальных луговых почвах участка разгрузки рудничных вод штольни Западная увеличилось количество серицитизированного и пелитизированного полевого шпата, гидромусковита, гидробиотита, гидроокислов железа; отмечены (от 1 до 10 %) такие минералы, как хлорит, эпидот и рудные минералы. Наличие большего количества измененных минералов в составе почв геотехногенных ландшафтов, связано с интенсификацией процессов их химического выветривания, обусловленных воздействием на почвы кислых рудничных вод штольни Западная и поровых вод хвостохранилищ. Появление же рудных минералов по профилю почв геотехногенных ландшафтов может быть связано с их механическим привнесением.

В результате термического исследования проб почв выявлено наличие экзопиков на термограммах в диапазоне температур 285.0-521.5°C, что свидетельствует о повсеместном присутствии по профилю почв органического вещества. Для минеральных горизонтов почв характерно наличие кварца – на термограммах выявлены отчетливые эндотермические эффекты при 573.9-575.6°C, вызванные полиморфным превращением  $\alpha$ -кварца в  $\beta$ -кварц. На термограммах образцов лежалых отходов обогащения руд и нижней части аллювиальных болотных почв наблюдаются эндотермические эффекты при температурах 482.3-489.6°C и 935.8-1005.1°C, связанные с выделением конституционной гидроксильной воды глинистых минералов и слюд. В погребенном перегнойном горизонте аллювиальной болотной почвы территории бывшего наливного хвостохранилища на термограмме выявлен слабый эндотермический рефлекс при температуре 574.4°C, отражающий полиморфное превращение  $\alpha$ -кварца в  $\beta$ -кварц. На термограмме же образца погребенного перегнойного горизонта с территории бывшего насыпного хвостохранилища отмечено два интенсивных эндотермических пика – 487.2°C и 575.3°C, связанных с выделением конституционной гидроксильной воды глинистых минералов, слюд и полиморфным превращением  $\alpha$ -кварца в  $\beta$ -кварц, соответственно.

Для оценки экологической опасности загрязнения почв геотехногенных ландшафтов их состав сравнили с кларками химических элементов в верхней части континентальной земной коры [1], что дает возможность выявить и сопоставить аномалии химических элементов. Аллювиальные почвы фоновых участков обеднены S, As, Cr, K, Na; в пределах кларковых фиксируются значения Ni, Zn, Co, Mn, Sr, V, Ca, Fe, Mg, F, Al, Ti. Такой химический состав типичен для почв гидроморфного ряда. Содержание Cd, Cu, Mo, Pb в фоновых почвах выше кларковых. Эти элементы, как рудные элементы и их спутники, характерны для почв территории Джидинского рудного узла [2, 3]. В органогенных горизонтах техногенно измененных почв фиксируются химические элементы, содержание которых существенно превышает кларк: на участке разгрузки рудничных вод – Cd, Zn, F; на территории бывшего насыпного хвостохранилища – Cd, As, Mo, Zn, F; на территории бывшего наливного хвостохранилища – Cd, Zn, Pb.

Геохимические ассоциации составлены по абсолютным содержаниям химических элементов в почвах относительно значений местного фона [3] с коэффициентом

концентрации превышающим 1.5 (табл.). На фоновом участке в пределах рудного узла содержание Mo, Cu, F, Ni, Co в почвах выше местного фона. В органогенном горизонте почв на участке разгрузки рудничных вод отмечена ассоциация Cd, F, Zn, Cu, Mo, Co; в глеевом горизонте – Cd, F, Cu, Zn, Ni, Co, Pb. На территории бывшего насыпного хвостохранилища выявлена достаточно широкая группа потенциально опасных химических элементов: Cd, Zn, F, Mo, Cu, Ni, As, Co, Pb. Вниз по почвенному профилю концентрации этих элементов снижаются, за исключением Pb. Геохимическую ассоциацию элементов в органогенном горизонте аллювиальных болотных почв территории бывшего наливного хвостохранилища составляют Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, F, Mo, Co; в глеевом – Cd, Ni, F, Zn, Cr, Cu, Co, As.

Таблица. Геохимические ассоциации элементов, накапливающиеся в аллювиальных почвах геотехногенных ландшафтов

Участок	Горизонт почвы	Ассоциация элементов
Фон	Органогенный	$Fe_{24}Mo_{3.1}Cu_{2.4}F_{2.3}Ni_{2.0}Co_{1.7}Cd_{1.5}$
	Глеевый	$Fe_{26}Mo_{2.8}F_{2.3}Cu_{2.0}Ni_{1.6}Cd_{1.5}$
Разгрузки рудничных вод	Органогенный	$Fe_{20}Cd_{14}F_{12}Zn_{5.7}Cu_{3.5}Mo_{2.4}Co_{1.8}$
	Глеевый	$Fe_{25}Cd_{23}F_{9.2}Cu_{6.8}Zn_{3.5}Ni_{2.4}Co_{2.0}Pb_{1.9}As_{1.5}$
Бывшего насыпного хвостохранилища	Органогенный	$Cd_{138}Fe_{27}Zn_{22}F_{8.5}Mo_{4.4}Cu_{3.5}Ni_{3.0}As_{2.6}Co_{2.3}Pb_{1.6}$
	Глеевый	$Cd_{51}Fe_{25}Zn_{9.2}F_{5.0}Cu_{4.8}Mo_{2.6}Ni_{2.4}Pb_{2.3}As_{2.3}Co_{1.7}$
Бывшего наливного хвостохранилища	Органогенный	$Cd_{72}Fe_{25}Pb_{17}Zn_{11}Ni_{4.1}Cu_{3.9}F_{3.3}Mo_{3.0}Co_{1.8}$
	Глеевый	$Fe_{28}Cd_{9.4}Ni_{3.4}F_{3.0}Zn_{2.7}Cr_{2.7}Cu_{2.5}Co_{1.9}As_{1.8}$

Следует отметить, что наибольшее количество потенциально опасных химических элементов в изученных почвах приурочено к их верхним, органогенным горизонтам, что свидетельствует об их техногенном загрязнении. Например, максимальные концентрации F отмечены в гумусовом горизонте аллювиальных луговых почв участка разгрузки рудничных вод. В природных же условиях содержание F в почве определяется его количеством в почвообразующих породах; он малоподвижен и не накапливается в верхних горизонтах почв, что связано с его инертностью к органическому веществу и приуроченностью к глинистым минералам [4]. В перегнойном горизонте погребенных аллювиальных болотных почв территории бывшего наливного хвостохранилища зафиксированы максимальные значения Pb, бывшего насыпного хвостохранилища – Cd, Zn и Mo. Содержания этих элементов в верхних горизонтах природных почв обычно близки к их концентрациям в почвообразующей породе, однако подвижные их формы активно соосаждаются с органическим веществом [5].

Таким образом, в почвах геотехногенных ландшафтов Джидинского вольфрамового месторождения произошли существенные изменения в микроморфологическом строении, минеральном и химическом составе. В сравнении с природными почвами в техногенно-измененных почвах произошли следующие изменения: увеличилась плотность сложения микроагрегатов, возросло количество железистых новообразований, отмечено большее количество измененных минералов, что связано с интенсификацией процессов химического выветривания при воздействии на почвы кислых рудничных вод и поровых вод хвостохранилищ. Для погребенных почв бывшего насыпного хвостохранилища характерно высокое содержание Cd, Zn, F, Mo, Cu, Ni, As, Co, Pb; бывшего наливного хвостохранилища – Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, F, Mo, Co; территории разгрузки рудничных вод – Cd, F, Zn, Cu, Mo. Наибольшее количество потенциально опасных химических элементов в изученных почвах приурочено к их верхним горизонтам, что свидетельствует об их техногенном загрязнении.

*Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментального базового проекта АААА-А21-121011890033-1 «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».*

### **Библиографический список**

1. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия География. – 2015. – № 2. – С. 7-17.
2. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Тимофеев И.В. Геохимия поверхностных горизонтов почв в горнопромышленных ландшафтах (г. Закаменск, Забайкалье) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2016. – № 4. – С. 335-352.
3. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы, состояние окружающей среды) / отв. ред. Г.И. Татьков. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – 181 с.
4. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. – 2007. – № 4. – С. 2-98.
5. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. – 505 p.

## Геохимическая аномалия фтора в почвах активной зоны флюидной разгрузки

*Павлов И.А., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д.*

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, e-mail: pavlov.igeb@yandex.ru

**Аннотация.** Изучено валовое содержание F и его водорастворимой формы в почвообразующих песках и почвах Баргузинской котловины. Установлено окололарковое значения этого элемента в аллювиальных и эоловых песках Баргузинской котловины, повышенное, высокое в аллювиальных почвах р. Индихэн и аномально высокое в почвоподобных образованиях диапировых валов, расположенных в зоне современной активной флюидной разгрузки Кучегэрского гидротермального поля.

**Ключевые слова:** Баргузинская котловина, гидротермальные источники, фтор.

## Geochemical anomalies of fluorine in soils of the active zone of fluid discharge

*Pavlov I.A., Ubugunov V.L., Ubugunova V.I., Zhambalova A.D.*

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, e-mail: pavlov.igeb@yandex.ru

**Abstract.** The total content of F and its water-soluble form in the soil-forming sands and soils of the Barguzin basin has been studied. Near-low values of this element have been found in the alluvial and Aeolian sands of the Barguzin basin, elevated, high and abnormally high in the alluvial soils of the Indihen River and soil-like formations of diapir shafts located in the zone of modern active fluid discharge of the Kuchiger hydrothermal field.

**Keywords:** Barguzin basin, hydrothermal vents, fluorum.

В почвах галофитных экосистем важное значение придается изучению F, Cl, Br, I. В районах Сибири наибольшее значение имеет фтор. Особенностью этого химического элемента является его реакционная способность в присутствии влаги и других галогенов. В соединениях фтор проявляет степень окисления  $-1$ . Соединения фтора очень устойчивые, поскольку малые размеры атома позволяют ему образовывать прочные ковалентные связи. Ковалентные фториды устойчивы к диссоциации как на простые вещества, так и на соединения с более низкой степенью окисления. Другой особенностью фтора является его малое сродство к кислороду. Среди представителей своего семейства фтор является наиболее сильным окислителем и способен окислять воду до кислорода с образованием некоторого количества пероксида водорода и озона. При этом образуется также фтористый кислород  $OF_2$  – газ, отличающийся сильными окислительными свойствами. При взаимодействии с кислотами фтор замещает водород, в солях металлов; в более жестких условиях фтор замещает кислород из этих соединений с образованием сульфурилфторида.

Положение фтора в периодической системе элементов в значительной мере определяет его геохимическое поведение. Близость ионных радиусов кислорода, гидроксила и фтора свидетельствует о возможности последнего замещать кислород и гидроксил в различных соединениях, а положение фтора как первого представителя подгруппы галогенов говорит о его свойстве вытеснять другие галогены из их соединений. Фтор входит в состав многих минералов (более 100). Концентраторами этого галогена являются фториды, слюды и амфиболы.

Элемент широко распространен в природе, он оказывает значительное влияние на биогеохимические процессы, формирующие интерзональные провинции, не имеющие связи с какой-либо определенной почвенно-климатической зоной. Содержание F в почвах Забайкалья мало изучено.

Отмечаются регионы как с аномально низким содержанием F, так и с его повышенной концентрацией в подземных водах, породах, почвах. Этот элемент тесно связан с вулканическими извержениями, при которых выделяется фтористый водород и происходит повышенное накопление элемента в ландшафтах.

На миграцию фтора влияют щелочно-кислые условия, сорбенты, фосфатные и кальциевые геохимические барьеры [1].

До настоящего времени совершенно не изучен фтор в почвах кайнозойских впадин внутриконтинентального Байкальского рифта, формирующихся в зонах поверхностной и

скрытой разгрузок азотных термальных вод. Имеются лишь сведения по почвам впадин мезозойского возраста (Селенгинское среднегорье) [2]. Целью настоящего исследования является изучение геохимии фтора в почвах активных зон флюидных разгрузок Кучегэрского гидротермального поля (Баргузинская котловина). Объект исследования – фоновые аллювиальные (рр. Олос, Талинга, Индихэн), озерно-аллювиальные и эоловые (урочище Верхний Хуйтэн) пески, аллювиальные почвы р. Индихэн и почвоподобные образования диапирового вала Кучегэрского термального поля, расположенного на берегу болотного массива – коллектора вод разгружающихся терм.

Изучался нетипичный для системы почвенных горизонтов вертикальный темно-серые морфон, пропитанный битумоподобным веществом и напоминающий по форме криогенный клин, расположенный на длине 1840 см почвенной траншеи КД-3, а также смежный к нему светлый вертикально восходящий слоисто-песчаный язык, на длине – 1880 см. Особенностью морфонов являются резко контрастные морфологические и физико-химические свойства (табл. 1).

Анализ физико-химических и химических свойств почв проведен стандартными общепринятыми методами (Воробьева, 2006). Для определения содержания фтора в почвенных образцах использованы следующие методы: для водорастворимых форм фтора – ПНД Ф 16.1.54-2008 ФР.1.31.2009-05747, для валового содержания – ионометрическое определение F в минеральном сырье. Для геохимической оценки использовали кларк литосферы (557 мг/кг) [1].

Таблица 1. Некоторые физико-химические свойства почв Кучегэрского гидротермального поля

Разрез	Глубина, см	pH водн.	C <sub>орг.</sub> , %	Сумма легкорастворимых солей, %	aNa <sup>+</sup> , ммоль/л	Частицы <0,01 мм	S, мг/кг	W, мг/кг
Индихэн ИН-1-19	+2-0	6,0	82,81*	не опр.	0,98	не опр.	не опр.	<5,0
	0-2(5)	6,4	3,69	0,154	0,34	8	376	
	2(5)-10(13)	7,0	0,69	0,040	0,08	6	134	
	10(13)-18(22)	7,4	28,46*	0,057	0,22	11	630	
	18(22)-36	7,6	0,50	0,047	0,15	6	149	
Кучегэрский болотный массив КД-3, длина 1840	0-9	7,7	4,87	0,204	38,02	25	690	11,2
	9-20	8,6	4,13	0,931	75,86	54	1839	43,5
	20-40	8,6	2,00	1,075	87,10	46	1294	19,7
	40-60	8,4	1,03	1,445	69,18	29	613	8,0
	60-72	8,0	0,24	0,385	63,10	7	207	<5,0
Кучегэрский болотный массив КД-3, длина 1880	0-11	7,2	4,50	0,179	14,79	20	591	<5,0
	11-25	8,9	0,44	0,970	34,67	8	164	
	25-35	8,8	0,20	0,300	25,70	6	155	
	35-54	9,0	0,20	0,215	23,44	7	122	
	54-69	8,9	0,19	0,098	19,05	5	157	

Примечание: \* – потеря при прокаливании

Фоновые пески (песчаный аллювий рек Талинга и Олос) находятся на значительном удалении от Кучегэрского гидротермального поля. В составе аллювиальных песков рек Талинга и Олоса преобладают минералы пород гранитоидной группы: кварц, олигоклаз, мусковит, биотит. Реже встречаются зерна андезинов, пироксена, хлорита, эпидота, пренита, роговой обманки. Содержание валового фтора в них находится на уровне кларка литосферы (483 и 554 мг/кг, соответственно). Минеральный состав аллювия р. Индихэн более разнообразен: наряду с минералами гранитоидных пород встречаются минералы основных и средних пород (скаполит, бастнезит, баритоцелестин, буланжерит и др.). В аллювиальных почвах поймы р. Индихэн значения валового фтора превышают кларк литосферы в 2-3 раза и составляют 1609-2017 мг/кг. Возможно, что повышенное содержание F в изученной почве

связано как с присутствием пород, обогащенных фтором, так и с поступлением его с гидротермальными растворами, разгружающимися в реку выше по течению.

В почвах траншеи КД-3 отмечается значительная вариабельность концентрации валового фтора: от 1714 до 151667 мг/кг (рис. 1, табл. 2). Эти значения в 3-272 раза превышают кларк литосферы. Темные импрегнированные морфоны на длине траншеи 1840 см имеют глинистый гранулометрический состав, характеризуются сильной степенью засоления 9-70 см слоя, очень высоким содержанием W, аномально высоким F (табл. 2, рис.1). На данном отрезке отмечены минералы магматических, метаморфических и гидротермальных пород, в том числе амфиболы неясного генезиса с повышенной щелочностью. По предварительным данным электронной микроскопии на поверхности минералов фиксировался в больших количествах фтор. Известно, что он способен входить в решетку некоторых минералов, а также способен сорбироваться на поверхности почвенных коллоидов, о чем свидетельствует обогащенность фтором коллоидной фракции почв. В литературе также имеются указания на то, что фтор связан с минеральным комплексом.

Таблица 2. Содержание валового и водорастворимого фтора в почвах, мг/кг.

Объекты	Глубина отбора образцов, см	F <sub>вал.</sub> , %	F <sub>водораств.</sub>	
			%	% от валового
КД-3 длина 1840 см	0-9	5719	86,1	1,51
	9-20(20)	151667	248	0,16
	20-40	83000	203	0,24
	40-60	36111	257,6	0,71
	60-72	4683	164,3	3,51
КД-3 длина 1880 см	0-11	3667	67,5	1,84
	11-25(25)	3667	108,4	2,96
	25-35	4263	96,7	2,27
	35-54	1950	35,2	1,81
	54-69	3667	121,2	4,41
ИН-19 р. Индихэн	0-2(5)	2017	1,0	0,05
	2(5)-10(13)	1609	4,0	0,25
	10(13)-18(22)	1773	1,5	0,08
	18(22)-36	1800	2,7	0,15
р. Олос	0-10	554	11,9	2,15
р. Талинга	0-10	483	1,0	0,21

Как известно, повышенное содержание фтора в почвах имеет место в ряде районов бывшего и современного вулканизма, распространения геотермальных источников и парогазовых струй. В их формировании могут принимать участие воды, а также минеральные и газовые компоненты самого разнообразного происхождения. Однако главным источником поступления минеральных и газовых компонентов в подземные воды вулканических областей являются породы литосферы и глубинные эманации, проникающие непосредственно из магматических очагов, корни которых уходят в верхние слои мантии. Как правило, практически все типы гидротерм отличаются высокими концентрациями фтора. Изученные аллювиальные пески по составу минералов не являются источником поступления фтора. В водах Кучегэрского источника содержание фтора в разные годы колебалось от 13,9 в 2015 г до 62,7 мг/дм<sup>3</sup> – в 2014 г [4], что значительно превышает установленные требования, предъявляемые для питьевой воды [3], но аномальная концентрация в прибрежной почве вряд ли возможна только за счет поступающих вод. Тем более, что на флангах почвенной траншеи, в близких к болотам участках, содержания F, напротив, не столь высоки, как в ее центральной части. Можно предположить, что основным источником фтора может быть

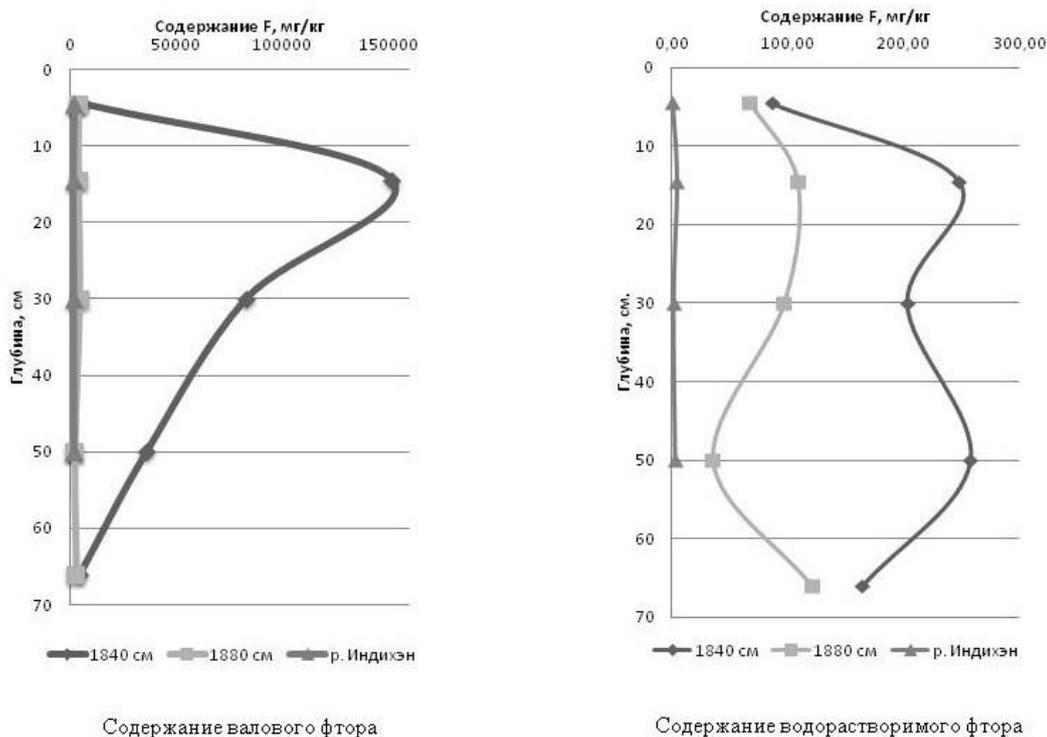


Рисунок 1. Содержание фтора в вертикальном профиле.

газоэманационный перенос, при этом участие рудных и редких элементов в данном процессе обеспечивается высокой летучестью и растворимостью соединений типа оксифторкомплексов с щелочными катионами. Фтор, обладая самой высокой химической активностью среди других элементов, не может находиться длительное время в свободном состоянии, и быстро вступает в различные химические реакции, что приводит его к значительному накоплению в нерастворимой форме.

Это косвенно подтверждают необычные свойства морфонов на длине траншеи 1840 см. Поступающий в почву фтор вызывает существенное изменение химических свойств почв. Выявлено наличие прямой связи между содержанием фтора и уровнем pH почвенной среды. Под влиянием фторидов натрия происходит смещение pH почвенной суспензии в щелочную сторону, что подтверждается полученными данными (pH 7.7-8.6) [5].

На длине траншеи 1880 см вертикально и субвертикально залегающий слоисто-песчаный морфон имел морфологические и физико-химические свойства, близкие к зональным фоновым почвам. По ассоциации минералов в нем прослеживается типичное преобладание минералов гранитных пород.

Полученные результаты исследований выявили локальную 272-кратную по отношению к кларку литосферы геохимическую аномалию фтора в почвах активной зоны флюидной разгрузки. Вполне очевидным представляется то, что локальные аномалии фтора в почвах обусловлены гидротермальными водами, в т.ч. за счёт скрытой подпочвенной и внутрипрофильной газогидротермальной деятельности источников, которая осуществляется по тектоническим трещинам и разломам и имеет пульсирующий характер. Неоднородное распределение фтора в почвенном профиле определяется, по нашей предварительной оценке, путями миграции элемента в газовой фазе по хорошо проницаемым светлым песчаным морфонам с осаждением его по периферии каналов дегазации в темноцветных импрегнированных слоях/клиньях с утяжеленным гранулометрическим составом.

Необходимо проведение дальнейших исследований для лучшего понимания специфики процессов почвообразования и генезиса почв в зонах активного эндогенного поступлений веществ и энергии.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № государственной регистрации 121030100228-4.*

### **Библиографический список**

1. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. Серия: География. 2015. № 2. С. 7–17.
2. Кашин В. К., Афанасьева Л. В., Убугунов Л. Л. Фтор в компонентах ландшафтов Западного Забайкалья // Агрехимия. № 10. 2015. С. 38-49.
3. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. (с изменениями от 25 февраля 2010 г., 28 июня 2010 г.). 2002.
4. Чернявский М.К. Плюснин А.М., Дорошкевич С.Г., Будаев Р.Ц. Рекреационно-бальнеологические особенности северо-восточной части Баргузинской котловины // География и природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 63–72.
5. Шварцев С.Л., Замана Л.В., Плюснин А.М., Токаренко О.Г. Равновесие азотных терм Байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования // Геохимия. – 2015. – № 8 – С. 720–733.

УДК 504.5:502.51:551:553.631 (470.13)

## **Влияние засоления на глинистые минералы почв на территории Серёговского соляного месторождения Республики Коми**

*Симакова Ю. С., Митюшева Т. П.*

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия, yssimakova@rambler.ru

**Аннотация.** Дана минералогическая характеристика почвенных профилей, сложившихся под воздействием природных процессов и преобразованных в результате засоления природной среды в зоне влияния добычи рассолов на территории Серёговского месторождения каменной соли. Проведен сравнительный анализ изменений состава почвогрунтов на участке засоления в районе скв. 2-ПС по наблюдениям 2005 и 2022 гг. В результате исследования засоленных и фоновых участков установлено, что засоление почв имеет ясно выраженный локальный характер и приурочено к конусу стока рассолов, не распространяясь за его пределы. Показано, что разбухающие слоистые силикаты почв при их засолении могут менять структуру и образовывать смешанослойные фазы.

**Ключевые слова:** глинистые минералы, почвы, засоление территории, Серёговское месторождения каменной соли

## **The influence of salinization on soil clay minerals at the territory of the Seryogovskoye salt deposit (Komi Republic)**

*Simakova Y.S., Mitiusheva T.P.*

Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia, yssimakova@rambler.ru

**Abstract.** As part of the ecogeological monitoring the of the Seryogovskoye rock salt deposit territory a mineralogical investigation of the soil profiles formed under the influence of natural processes and transformed as a result of salinization of the natural environment in the zone of influence of brine extraction was carried out. A comparative analysis of changes in the soil composition in the saline area near well 2-PS was done basing on observations in 2005 and 2022. As a result of the study of saline and background areas it was found that soil salinization has a clearly expressed local character and is confined to the cone of brine runoff without spreading beyond it. It is shown that swelling layered silicates of soils during salinization can change their structure and form mixed-layer phases.

**Keywords:** clay minerals, soils, salinization of the territory, Seryogovskoye salt deposits

Засоление почв природного или техногенного генезиса на сегодняшний день является актуальной экологической проблемой. Загрязнение почвенного покрова легкорастворимыми солями ведет не только к угнетению растительности, микрофлоры и др., но выражается и в изменении минерального состава и глинистого вещества почв.

Серёговское месторождение каменной соли находится в с. Серёгово Республики Коми (рис. 1а) в юго-восточной части Вычегодского прогиба Мезенской синеклизы Русской плиты [1] и приурочено к сводовой части Серёговский солянокупольной структуры. Каменная соль залегает на глубинах от 216 м (в центральной части) и до 570 м. Четвертичные отложения мощностью от 0 м до 93 м в зависимости от геоморфологических особенностей рельефа, представляют сложно-построенный комплекс ледниковых образований и аллювиальных осадков (рис. 1б) [2].

Месторождение разрабатывалось методом подземного выщелачивания соли с 1955 до 2000 гг. В настоящее время оно законсервировано, скважины не ликвидированы. Для добычи рассолов последовательно разбурены эксплуатационные скважины 3-Э, 4-Э, 1-ПС и 2-ПС расположенные непосредственно на территории села. В скважину 2-ПС (глубина 680 м) в период подготовки её к эксплуатации (около 400 суток) и формирования камеры выщелачивания в толще каменной соли производилась закачка пресных вод, и последующий сброс насыщенных рассолов с минерализацией  $\approx 300$  г/л на рельеф.

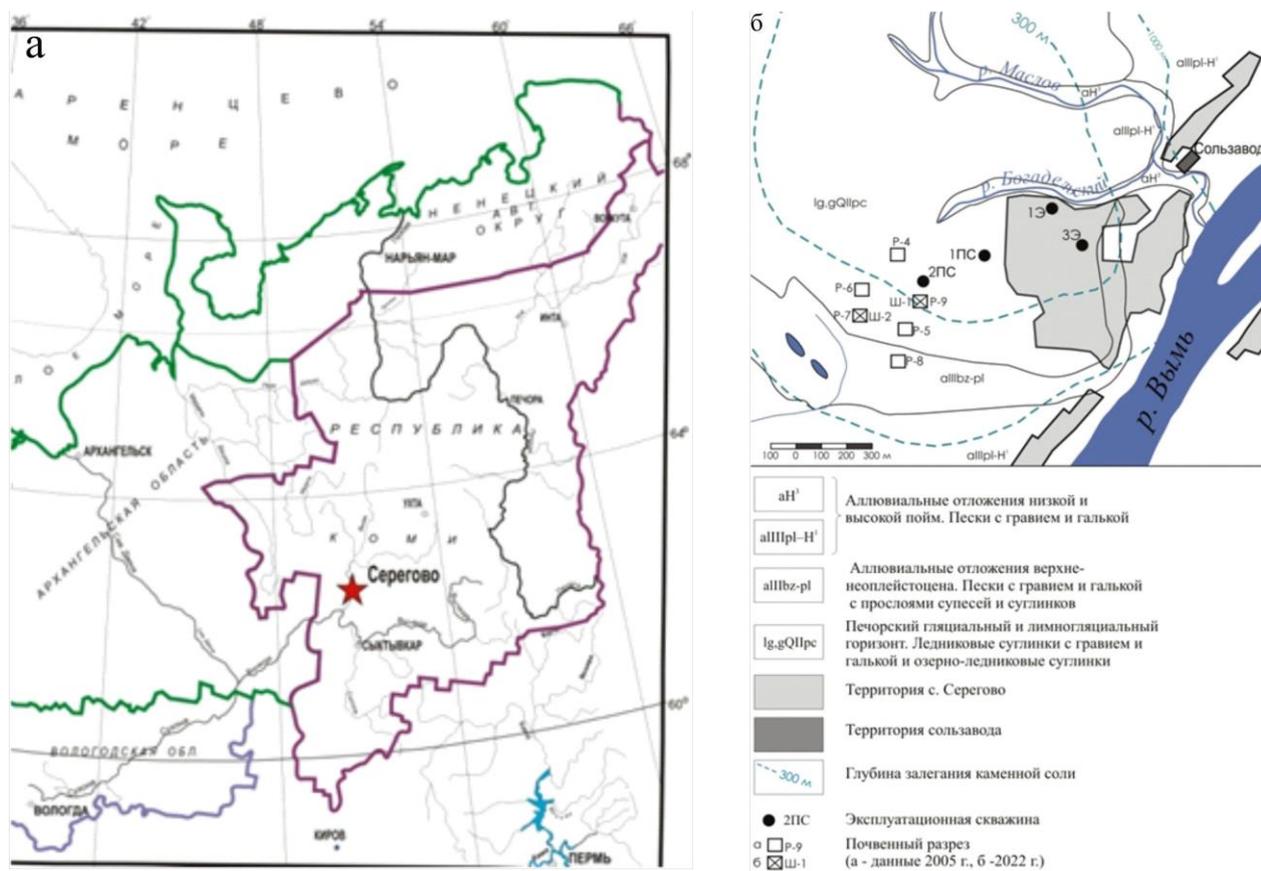


Рисунок 1. Местоположение села Серёгово – а, изученного участка на площади Серёговского месторождения каменной соли – б.

### Материалы и методы

Для выявления и оценки степени воздействия сброса рассолов на почвенный и растительный покров, почвенно-грунтовые воды, динамику процессов техногенного засоления, пути миграции водорастворимых компонентов в ландшафтах, в 2004—2005 гг. были проведены детальные исследования на участке, прилегающем к скважине 2-ПС [2]. На этом участке были заложены почвенные разрезы для морфологического описания почв и отбора проб по генетическим горизонтам, по двум профилям от вершины купола и до его подножия, условно выделены «чистый» (не загрязненный, фоновый) и техногенно-преобразованный (засоленный) участки (рис. 1б).

В ходе полевых работ 2022 г. в рамках мониторинга состояния окружающей среды на Серёговском месторождении были отобраны образцы из почвенных разрезов Ш-1 и Ш-2, соответствующих положению фонового (P-7) и засоленного (P-9) на выровненном террасовидном выступе в верхней части склона, сложенного моренными суглинками печорского горизонта.

Из полученных образцов отмучиванием выделена глинистая фракция ( $<0.005$  мм). Фазовый анализ неориентированных и ориентированных препаратов выполнен при помощи рентгенофазового анализа на рентгеновских дифрактометрах Shimadzu XRD-6000 и Naoyuan DX-2700BH (CuK $\alpha$ , Ni-фильтр, 30 кВ, 20 мА). Области сканирования 2 $\theta$ : 2-26 и 2-52° для ориентированных образцов. Рентгенофазовый минеральный состав анализировался в ориентированных препаратах в воздушно-сухом состоянии и после насыщения этиленгликолем. Полуколичественный рентгендифракционный анализ был выполнен с помощью программы Sybilla<sup>©</sup>, позволяющей моделировать дифракционные профили для смесей глинистых минералов и смешанослойных фаз в ориентированных образцах.

Химический состав пород был определен с помощью рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на волновом спектрометре Shimadzu XRF-1800 (аналитик С.Т. Неверов).

*Аналитические исследования проводились в Центре коллективного пользования (ЦКП) “Геонаука” Института геологии ФИЦ Коми научного центра УрО РАН, г. Сыктывкар.*

### **Результаты и обсуждение**

**2005.** По данным исследования 2005 года (рис. 1б) засоление торфяно-глеевой почвы оказало выраженное влияние на изменение минералогического состава глинистой фракции. В нижних глеевых почвенных горизонтах при общем уменьшении абсолютного содержания водорастворимых солей, наблюдается перераспределение катионного состава в пользу натрия, за счет существенного снижения доли кальция и магния. Следует отметить, что на момент опробования фоновой площадки почвенно-грунтовые воды отсутствовали в первом метре профиля почвы [2].

Фоновый участок Р-7 опробован наиболее тщательно. Глинистая составляющая образцов почвы этого участка характеризуется значительным содержанием иллита и смешанослойного иллит/смектита. В меньшем количестве присутствуют Fe-хлорит и каолинит. Упорядоченность разбухающих фаз уменьшается ближе к поверхности, что выражается в более диффузной форме рефлексов иллит/смектита, уменьшении их интенсивностей и появлении нецелочисленных отражений в малоугловой области дифрактограмм приповерхностных образцов. Смешанослойный минерал содержит различное количество иллитовых слоёв и характеризуется первым межплоскостным расстоянием, варьирующим в интервале 12,3-14,3 Å в воздушно-сухом состоянии и 17,7-18,0 Å – в гликолированном. Содержание хлорита в образцах фоновой площадки относительно невелико, минерал равномерно распределён по всему профилю. Все образцы содержат рентгеноаморфные соединения железа, что находит отражение в высоком фоне дифрактограмм и влияет на их качество.

Для почвы загрязненного (засоленного) участка характерно преобладание неупорядоченных смешанослойных фаз, образовавшихся, вероятно, при деградации иллита, смектита и хлорита. Минералы в значительной степени изменены, что весьма характерно для почв. Диффузная форма дифракционных рефлексов глинистых минералов свидетельствует об измененности и структурной разупорядоченности этих фаз. Следует отметить, что степень измененности уменьшается от верхних частей разреза к нижним. Минералогический состав глинистой фракции почвы засоленного участка, в отличие от фоновой площадки, характеризуется деградацией в смешанослойные неупорядоченные фазы. Преобладающим 14-Å-вым минералом становится хлорит, также измененный. Отличительной особенностью минералогии засоленных участков является появление сложно-диагностируемых смешанослойных образований, часто неразбухающих либо разбухающих незначительно. Предположительно, это иллит/хлориты или иллит/смектит/хлориты. На дифрактограммах эти фазы характеризуются диффузными рефлексом с первым межплоскостным расстоянием ~ 13,5-14,2 Å в воздушно-сухом состоянии и менее интенсивными – с  $d/n \sim 15,4-17,6 \text{ Å}$  – в гликолированном. Кроме того, основные отражения сопровождаются малоинтенсивными нецелочисленными рефлексом, также меняющими своё положение при насыщении органическими жидкостями. В ряде случаев на дифрактограммах можно наблюдать вместо отдельных пиков глинистых минералов диффузные «горбы», относящиеся к неупорядоченным смешанослойным фазам, обычно появляющимся при активном вторичном преобразовании пород. По-видимому, засоление почвы обуславливает нестабильность смектитовых межслоевых промежутков. А многочисленные циклы «обводнения-высушивания» способствуют стабилизации неразбухающих фаз. К отличительным особенностям засоленного участка следует отнести появление рефлексом галита, лепидокрокита и, в некоторых образцах, малоинтенсивных рефлексом водных сульфатов.

Выполненный химический анализ водной вытяжки из образцов почв фоновой и засоленного участков показал значительное превышение содержания Na и Cl в почве засоленного участка [2]. Наибольшее загрязнение этими элементами наблюдается в интервале 0-25 см, что в  $\approx 400$  раз больше по Cl и в 150 раз по  $\text{Na}^+$  по сравнению с фоновым участком.

**2022.** Исследования почвенных профилей, заложенных приблизительно на тех же участках, что и в 2005 году, продемонстрировали результаты, отличающиеся от вышеописанных.

Слоистые силикаты, диагностированные в почвенных профилях фонового (Ш-2) и условно-засолённого (Ш-1) участков показали почти полную идентичность, как по фазовому составу, так и по их соотношению. Отличие в минералогическом составе почвенных разрезов (по данным моделирования дифракционных профилей) состоит в более высоком содержании смешанослойного иллит/сметита в образцах условно-засолённого разреза. Полуколичественный анализ позволил оценить соотношения глинистых минералов в почвах профилей (рис. 2). Содержание смешанослойного иллит/сметита в образцах фонового профиля колеблется в пределах 15-40%, уменьшаясь с глубиной. Соответственно возрастает количество смектита (18-55%). Количество прочих глинистых минералов стабильно и меняется по профилю незначительно: хлорит – 4-6%, иллит – 16-22%, каолинит – 10-13%. В образцах условно-засолённого участка приблизительно такое же распределение последних трёх минералов. Разбухающие слоистые силикаты более равномерно распределены по засолённому профилю: смешанослойный иллит/сметит - 45-55%, смектит – 12-18%. Химический состав почв по данным РФА (табл.) сходен. Тем не менее, почвы засолённого участка характеризуются несколько повышенным содержанием Na и Cl по сравнению с фоновым. Таким образом, за последние 15-20 лет засоленность почв на месте сброса рассола значительно уменьшилась, минеральный состав пород почвенного профиля приблизился к естественному состоянию, влияние техногенного засоления минимизировано. Лабильная структура разбухающих слоистых силикатов может служить индикатором влияния засоления на почвенный профиль наряду с составом растительности и другими критериями.

Таблица. Состав глинистой составляющей почв, % по данным РФА

Компонент	Номер образца								
	Ш 1-1	Ш 1-2	Ш 1-3	Ш 1-4	Ш 1-5б	Ш 1-5с	Ш 2-1	Ш 2-2	Ш 2-3
SiO <sub>2</sub>	57,98	57,58	56,99	56,23	55,13	56,36	62,37	60,53	60,18
TiO <sub>2</sub>	0,77	0,74	0,67	0,65	0,63	0,69	0,73	0,71	0,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,62	21,60	20,69	20,40	20,88	20,83	19,57	22,42	22,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	6,95	7,77	6,58	6,28	6,74	5,71	7,11	6,73	6,85
MnO	0,08	0,10	0,17	0,15	0,11	0,08	0,18	0,13	0,11
MgO	3,55	3,55	4,25	4,47	4,81	4,64	2,86	3,71	3,69
CaO	3,28	3,18	5,86	6,95	6,72	6,81	2,37	1,60	1,60
Na <sub>2</sub> O	0,77	0,69	0,67	0,64	0,69	0,62	0,59	0,43	0,53
K <sub>2</sub> O	3,59	3,57	3,58	3,64	3,61	3,69	3,65	3,61	3,81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,39	0,35	0,17	0,18	0,19	0,16	0,37	0,13	0,14
SO <sub>3</sub> общ	0,42	0,25	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,19	<0,1	<0,1
Cl	0,59	0,63	0,38	0,41	0,50	0,43	не обн	не обн	не обн
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Во всех образцах следы Zn, Cu, Cr, Ni, Zr, Sr, Rb

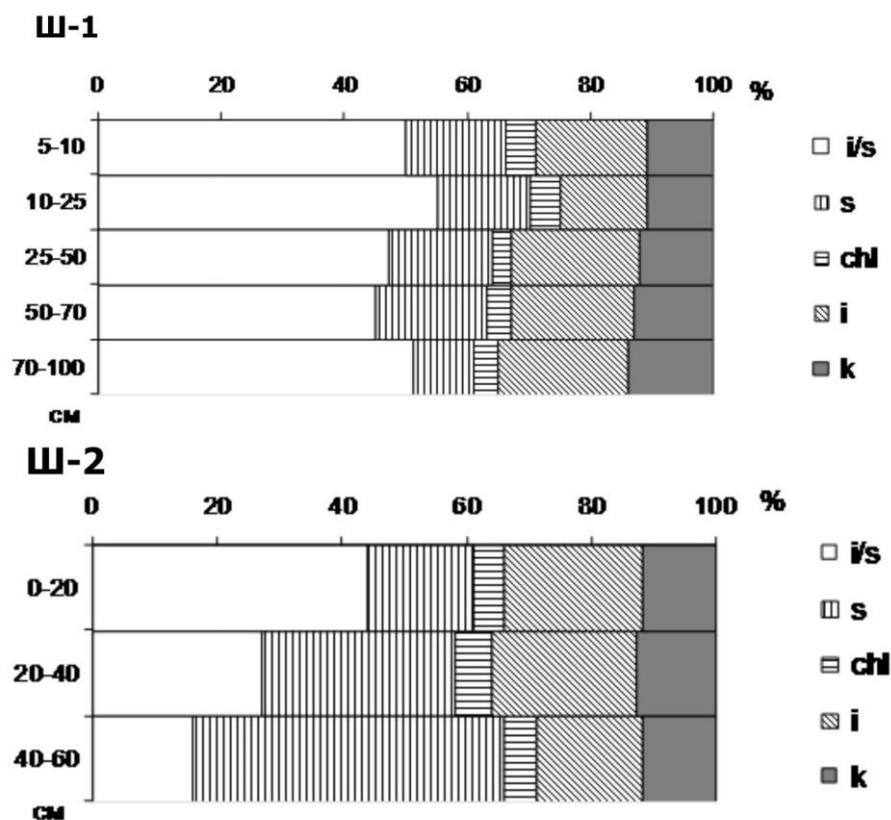


Рисунок 2. Содержание глинистых минералов в почвенных профилях Ш-1 и Ш-2, %. I/S - иллит/сметтит, S - смектит, Chl - хлорит, I - иллит, K – каолинит.

### Выводы

1. Засоление почв в значительной степени изменяет фазовый состав глинистой фракции, непосредственно влияя на состав межплоскостных промежутков разбухающих глинистых минералов почвенного профиля. Оно способствует преобразованию смектитовых фаз в смешанослойные минералы. При сильном засолении могут образовываться сложные труднодиагностируемые слабо разбухающие фазы, предположительно иллит/сметтит/хлориты.

2. При уменьшении техногенной нагрузки (засоления) происходит постепенный вынос Na и Cl из почвенного слоя и, соответственно, восстановление структуры исходных глинистых минералов.

3. Мониторинг экогеологической обстановки территории Серёговского месторождения каменной соли показал, что на ранее засоленном участке наблюдается восстановление глинистого состава почвы и растительности. Глинистые минералы могут быть индикатором степени засоления.

### Библиографический список

1. Кальберг Э.А. Серёговский соляной купол // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока европейской части СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1962. Вып.2. С.49-59.
2. Экогеологическая обстановка в районе Серёговского месторождения каменной соли и минеральных вод / Митюшева Т.П., Лапицкая В.Ф., Лаптева Е.М. и др. Сыктывкар: Геопринт, 2006. 48 с.

**Сульфатно-кислые солончаки бугров пучения: макро-, микроморфологические и минералогические особенности (Центральная часть Байкальской рифтовой зоны)**

*Убугунов В.Л.<sup>1</sup>, Лебедева М.П.<sup>2</sup>, Дорофеев Н.И.<sup>3</sup>, Воробьева Г.А.<sup>4</sup>, Убугунова В.И.<sup>1</sup>, Чудаев Д.А.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия  
e-mail: [ubugunovv@mail.ru](mailto:ubugunovv@mail.ru)

<sup>2</sup> ФГБУН Почвенный институт им В.В. Докучаева, Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва, Россия

<sup>4</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>5</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**Аннотация.** В районе разгрузки Кучегэрских гидротермальных источников распространены бугры пучения со свежими трещинами растяжения, низкой плотностью субстрата, отсутствием растительности, с современным ледовым ядром. На них формируются нетипичные почвенные образования – солончаки сульфатно-кислые. Приведены результаты комплексных исследований, включающие материалы по микроморфологическому строению, физико-химическим показателям, ассоциации минералов, комплексу диатомовых водорослей.

**Ключевые слова:** гидролакколит, сульфатно-кислые солончаки, Байкальская рифтовая зона

**Sulfate-acid Solonchaks of frost mounds: macro-, micromorphological and mineralogical features (Central part of Baikal Rift Zone)**

*Ubugunov V.L.<sup>1</sup>, Lebedeva M.P.<sup>2</sup>, Dorofeyuk N.I.<sup>3</sup>, Vorobyova G.A.<sup>4</sup>, Ubugunova V.I.<sup>1</sup>, Chudaev D.A.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup> Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia  
[ubugunovv@mail.ru](mailto:ubugunovv@mail.ru)

<sup>2</sup> V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

<sup>5</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

**Abstract.** In the area of the Kucheger hydrothermal springs discharge, frost heaving mounds with fresh tensile cracks, low substrate density, lack of vegetation, and a modern ice core are common. Atypical soil formations such as sulfate-acid Solonchaks are formed on them. The results of the complex studies including materials on the micromorphological structure, physicochemical indicators, mineral associations, and diatom complex are presented.

**Key words:** hydrolaccolith, sulfate-acid Solonchaks, Baikal Rift Zone

На северо-западе Баргузинской котловины (Республика Бурятия) обнаружены нетипичные для озерно-аллювиальной равнины бугры пучения. Эти образования существенно усложняют неоднородность почвенного покрова холодных областей тектонически активных зон Байкальского рифта. Понимание условий их возникновения представляет большой научный интерес. Были изучены макро-, микроморфологические и минералогические свойства одного из бугров пучения, расположенного в центральной части Байкальской рифтовой зоны.

В качестве объекта исследований был использован один из недавно появившихся бугров пучения (ВЛК-15, N54,86929°, E110,98677°, прибортовая окраина озерно-аллювиальной равнины Улюнханской котловины, в 1,0 км южнее разгрузки Кучегэрских гидротерм), представляющий собой куполовидное поднятие сложной конфигурации (высота около 2,5-3,0 м), образовано скоплением разновозрастных гидролакколитов, скупенных в одной области. Поверхность ВЛК-15 быстро эродирована плоскостным смывом. Более устойчивые фрагменты, лучше скрепленные дерниной, остаются в виде столбовидных останцовых кочек высотой 20-30 см. Система их расположения дает основание полагать, что до образования поднятия данная позиция представляла собой заочкаренное болото. Профильное сложение бугра изучали вскрытием траншеи, тянущейся от вершины до основания. На глубине 120-130 см располагалась округлая поверхность ледового ядра, копирующая форму поверхности.

По морфологическим свойствам профиль делился на три основные пачки. Верхняя часть (0-50 см) буроватая, без следов слоистости, с крупными диффузно осветленными пятнами,

охристыми прожилками по ходам тонких корней, глубокими трещинами растяжения, железистыми пленками и пропитками по краям трещин. Материал, несмотря на тяжелый гранулометрический состав, представлен очень легким субстратом. Содержание органики достаточно высокое, но не являлось причиной крайне низкой плотности. Реакция среды очень кислая (рН 3,4-3,8) и не согласуется с высоким содержанием легкорастворимых солей (1,12-1,16%). Токсичных солей при этом немного (0,14-0,19%), и соответственно, степень засоления слабая, т.к. основная часть доминирующих среди анионов сульфатов осаждается кальцием в виде гипса. Химизм засоления по щелочности нейтральный, по анионам – сульфатный, а по катионам характеризуется чередованием магниево-натриевого и натриевого. Геохимические особенности выражены в очень высоком содержании S (10308-16675 мг/кг), Mo (2,4-4,3 мг/кг), W (5,3-9,1 мг/кг).

Минералогический состав характеризуется доминированием биогенного кварца, представленным кварцевыми створками диатомовых водорослей (рис. 1). Основной состав водорослей – пресноводные виды, предпочитающие циркумнейтральные, слабо минерализованные, слабокислые или слабощелочные среды. Наряду с планктонными видами родов *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Melosira*, наиболее обильными в слое 5-15 см, в составе водорослей преобладают донные виды и виды-обрастатели из родов *Navicula*, *Pinnularia*, *Rhopalodia*, *Epithemia*, *Gomphonema*, *Cocconeis*, а также многочисленные мелкоклеточные виды фрагиляриевых родов.

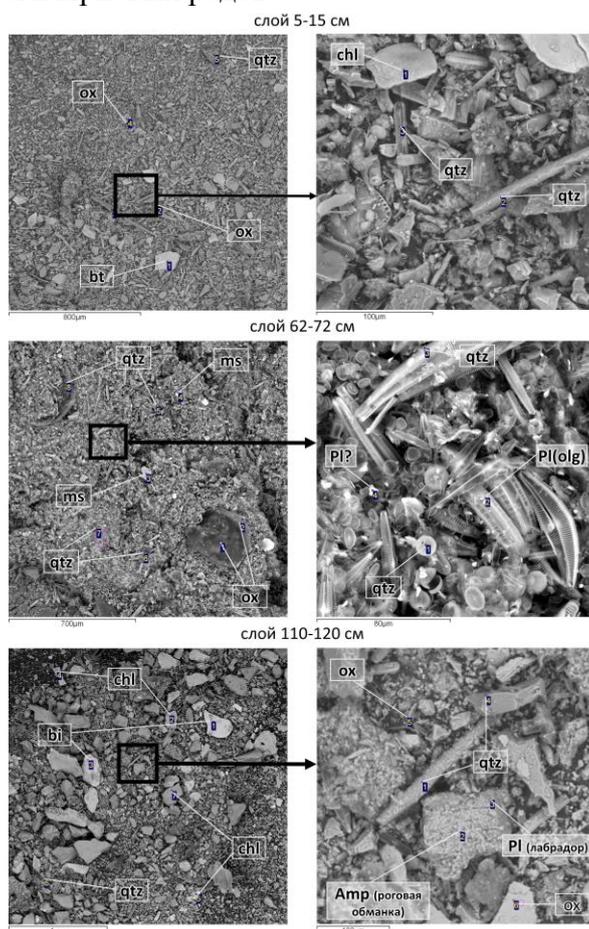


Рисунок 1. Микрофотографии отложений бугра ВЛК-15 и их минералогический состав

Особенностью микроморфологического строения является наличие скоагулированных сгустков черного и бурого цвета, некоторые из них содержат хлорит, барит, циркон, ильменит. На глубине 20-30 см встречались дугообразные обособления рентгеноаморфной грязевой массы, неоднородно насыщенной тонкодисперсным веществом (0,01-0,05 мм). На глубине 37-47 см отмечены проявления криогенно-плитчатой структуры с разнородным качеством субгоризонтальных шлиров и неоднородными органическими остатками разной степени

разложенности. Субстрат образован смесью колломорфной грязи, вторичных минералов различных солей (гипса, карбонатов и др.), минеральных частичек и разложившихся растительных остатков (рис. 2). В округлых органических остатках полости заполнены выпавшими из раствора солями. Отмечены проявления скоагулированных структур. Сгустки круглые и четко не разграничены.

На глубине 50-72 см чередуются 5 тонких хорошо дифференцированных слоев, контрастно различающихся по окраске, наличию включений органического вещества, структуре, гранулометрическому составу. Реакция среды, степень и химизм засоления однотипны с вышележащей 0-50 см толщиной. Слоям характерны обилие фитолитов,

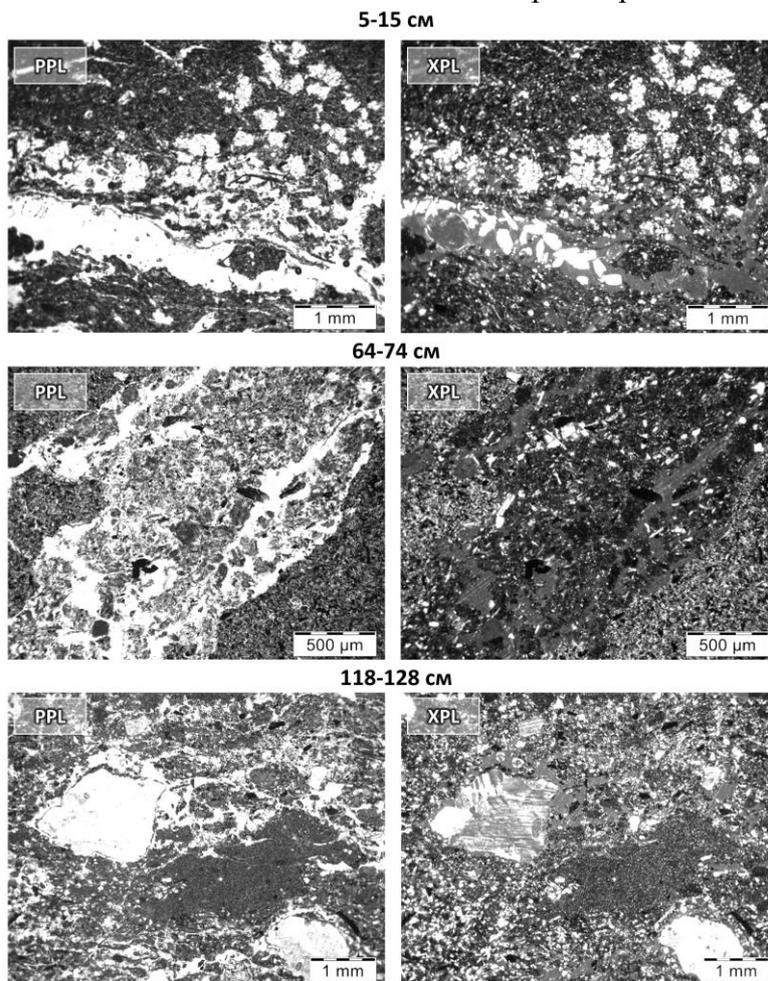


Рисунок 2. Микроморфологическое строение 0-50 см толщи

обугленные растительные остатки, отмечено большое количество растительных остатков разной стадии разложения и углистых. Гипс встречается как в виде друз, так и отдельных разноразмерных (от 0,15-0,20 до 1,0-1,5 мм) микроагрегатов. Все трещины косые, субпараллельные, обычно встречающиеся при криогенезе.

На глубине 64-74 см (рис. 2) встречаются разнородные образования: колломорфная грязевая масса с трещинами, светлая колломорфная масса заполнителя, насыщенная обломками первичных минералов, агрегаты вторичных солей, органика с примесью битумоподобных веществ. На этой глубине морфологически выделяется две генерации обособления грязевых масс: светлая, насыщенная пылеватыми частицами и темная, не затвердевшая. Структура обломочная, кластогенная, типа ксенолитов, внутри колломорфная вмещающая прокрашенная масса с множеством кристаллов с солевыми микрокристаллами. Встречаются трещины усыхания, заполненные игольчатыми кристаллами. Особенностью рассмотренной толщи (до глубины 72 см) является присутствие мелких сростков гипсовых кристаллов преимущественно во внутриведной массе, иногда в межагрегатных порах.

Ассоциация минералов в 50-72 см слое состоит из калиевого полевого шпата, олигоклаза, эпидота, амфибола, различных оксидов (рис. 1). Доминирующим минералом является биогенный кремнезем, представленный створками планктонных диатомовых водорослей. В слое 68-70 см встречаются два галофильных вида (*Stephanodiscus hantzschii*, *S. Minutulus*) и один вид (*Cyclotella meneghiniana*), обитающий как в слабосоленых водоемах, так и в морях.

В нижней части профиля (72-123 см) неоднородная и пестрая по цвету толща. Агрегаты различны (рис. 2): в светлых преобладают коллоидные частицы, в темных почти все заполнено минералами. Хорошо диагностируется микроклин, местами с вросками кварца. Гранулометрический состав надмерзлотного слоя (110-120 см) легкосуглинистый. Материал слоя состоит из смеси неупорядоченно распределенных морфонов размерностью 1–10 см, засыпанных в трещины из верхних слоев. Высокая перемешанность фрагментов и агрегатов с разным гранулометрическим составом, а также наличие гумусированного материала в межагрегатных трещинах позволяет предполагать активные процессы криотурбации.

На глубине 110-120 см расположен ледяной клин. По всем свойствам этот слой отличается от вышерасположенных. Отмечается увеличение фракций физического песка (76 %), снижение органической составляющей (8,6 %), увеличение рН (6,5), отсутствие засоления, резкое снижение содержания S (2055 мг/кг), Мо (2,0 мг/кг), W (4,6 мг/кг). Ассоциация минералов представлена различными плагиоклазами (альбит, олигоклаз, лабрадор), зернами калиевого полевого шпата, эпидота, амфибола (в т.ч. роговой обманки, гастингсита), хлорита, барита, циркона, ильменита, висмута, аморфных оксидов. В этом слое встречается небольшое количество диатомовых водорослей (рис. 1), в основном донных форм (*Epithemia*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Rhopalodia*) и обрастателей (*Cymbella* spp., *Cocconeis* spp. и др.).

Изученный бугор пучения как форма рельефа представляет собой очень сложное в плане генезиса образование, связанное с развитием гидролакколита, водное питание которого, на наш взгляд, обеспечивается восходящими глубинными водами. На последнее указывает геохимический состав субстрата с аномалией серы, вольфрама, молибдена, очень высокие концентрации легкорастворимых солей при отсутствии источников континентального соленакпления, присутствие микрокристаллов гипса, что совершенно нетипично для почв как окружающих территорий, так и региона в целом, и ультракислые значения рН отложений, характерные для очень редких в континентальных условиях сульфатно-кислых почв. Свойства и показатели осадочной толщи свидетельствуют о высококонтрастных условиях седиментации. Нижняя, относительно однородная часть профиля, расположенная над ледовым ядром, более минеральная, в общих чертах соответствует фоновому. По небольшому количеству диатомей, почвенным показателям и резкому появлению слоистости в вышележающей толще, можно судить о более суровых для биоты климатических условиях осадконакопления, что может соотноситься с верхним плейстоценом. Серия тонких слоев, расположенных в средней части профиля (50-72 см), формировалась в значительно более комфортной для диатомей обстановке, что подтверждается резким всплеском их численности и смене доминантов на галофильные виды донного фитопланктона. Одновременно с этим почти вдвое увеличивается содержание органического вещества. Более поздние отложения (слой 0-50 см), накопившиеся до криогенного роста бугра, аккумуляровались в пресном или слабосоленом водоеме. Микроморфологические исследования показали донный характер отложений бугра с обилием количества и видового разнообразия диатомей, что по составу приближает эти седименты к кизельгуру. Осадки формировались в различных гидротермических условиях, а на последнем этапе с активным педогенным преобразованием. При росте гидролакколита получили развитие трещины, растяжения, засыпки, педогенное и криогенное оструктуривание, окисление пирита, гипсовые новообразования, ультракислые значения рН. Совокупность факторов подтверждает наличие эндогенного источника водного и солевого питания, о чем можно судить по составу и количеству легкорастворимых солей, аномалиям S, W, Мо. Имеются достаточные основания предполагать, что эндогенное поступление вод и газов является триггером развития гидролакколита и запуска цепи

событий, приводящих к появлению поднятий с экстремальными для биоты свойствами – солончаков сульфатно-кислых и засоленных сульфатно-кислых почв, лишенных растительности. Эндогенный фактор, имеющий место в Кучегэрской гидротермальной зоне, ведущий к образованию специфических поднятий, создает совершенно специфические условия педогенеза и существенно усложняет неоднородность почвенного покрова холодных областей тектонически активных зон Байкальского рифта.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № государственной регистрации 121030100228-4.*

УДК 631.4 (571.54)

**Минералогический состав почв поднятий Кучегэрского гидротермального поля  
(Байкальская рифтовая зона, Баргузинская котловина)**

*Убугунов В.Л.<sup>1</sup>, Убугунова В.И.<sup>1</sup>, Дорофеев Н.И.<sup>2</sup>, Насатueva Ц.Н.<sup>1</sup>, Ласточкин Е.И.<sup>3</sup>,  
Цыренова Д.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия  
ubugunov@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБУН Геологический институт СО РАН им. Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ, Россия

**Аннотация.** Особенности минералогического состава почв диапирового вала связаны с обилием многообразных форм кремнеземных скелетов водорослей в виде игольчатых, трубчатых, удлиненных, округлых форм, неправильной формы сросшихся кристаллов и незначительным присутствием минералов гидротермального происхождения (пирротина, пирита, фенакита). Рыхлые кремнистые отложения имеют большое сходство по плотности и химическому составу с осадочной горной породой диатомит (кизельгур) или промежуточным типом отложений – диатомовых сапропелей.

**Ключевые слова:** почвы, минералогия, диатомит, Байкальская рифтовая зона.

**Mineralogical composition of soils of the Kuchiger hydrothermal field uplifts  
(Baikal Rift zone, Barguzin Depression)**

*Ubugunov V.L.<sup>1</sup>, Ubugunova V.I.<sup>1</sup>, Dorofeyuk N.I.<sup>2</sup>, Nasatueva Ts.N.<sup>1</sup>, Lastochkin E.I.<sup>3</sup>,  
Tsyrenova D.D.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, ubugunov@mail.ru

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

<sup>3</sup> N.L. Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

**Abstract.** Features of the mineralogical composition of soils of the diapiric ridge are associated with the abundance of various forms of silica skeletons of algae in the form of needle-shaped, tubular, elongated, rounded, irregularly joint crystals and a minor presence of minerals of hydrothermal origin (pyrrotine, pyrite, phenacite). Loose siliceous deposits are very similar in density and chemical composition to the sedimentary rock diatomite (kieselguhr) or an intermediate type of deposits - diatomaceous sapropels.

**Key words:** soils, mineralogy, diatomite, Baikal Rift zone.

На северо-западе Баргузинской котловины имеется площадное распространение нетипичных для лесной зоны засоленных почв. Их формирование происходит при открытой и скрытой разгрузке термальных (40-50°C) вод Кучегэрских источников кульдурского типа. Для них характерна низкая минерализация (0,3-0,75 г/дм<sup>3</sup>), щелочность (рН 9,9), высокое содержание фтора (14-26 мг/дм<sup>3</sup>), кремниевой кислоты (80,0-85,7 мг/дм<sup>3</sup>) и сероводорода, а также повышенное содержание S, W, Sr, Cl, Ba, Al, Ti, Cu, Cr, Fe, Li, Ni, Pb, Cd и редкоземельных элементов [3]. В Байкальской рифтовой зоне подземные воды разгружаются в виде открытых, скрытых, рассеянных и субаквальных родников [1] и создают крайне динамичные условия, в результате которых изменяются процессы седиментогенеза, формы рельефа [2] и функционирование экосистем [4]. В районе разгрузки гидротерм выявлена сильная турбированность почв, формирование морфонов, импрегнированных темноцветным материалом неясного генезиса, засоление почв, обогащение их серой, вольфрамом [5]. Целью настоящих исследований явилось изучение минералогических особенностей почв, формирующихся непосредственно в зоне активной разгрузки слабоминерализованных термальных вод и газов в центральной части Байкальской рифтовой зоны.

Объект исследований – почвы продолговатого острова-вала (КД-1; N 54°52'56,5"; E 111°00'08,9"), возвышающегося более 1 м над Кучегэрским аazonальным болотным массивом, в который разгружаются гидротермальные воды. 60-70 % поверхности острова занимает разнотравно-полынная растительность, остальную площадь – группировки мхов и лишайников. Длина вала 51,8 м, ширина от 1,4 до 4,9 м. Поверхность диапирового вала волнистая. На ней четко выражены микроповышения. Почвенный разрез шириной около 85 см заложен в пределах 2-х прибрежных валиков, параллельно вытянутых диапиру и

разделенных трещиной. Анализ минерального состава твердого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP).

Почвенный профиль представлен четырьмя контрастными по морфологии слоями: 1) перегнойным Н и Н<sub>imp,int</sub> (0-32 см); 2) переходным С<sub>int</sub> (32-89 см); 3) глеевым С<sub>g</sub> (89(90)-98(100) см) и 4) импрегнированным С<sub>imp</sub> (105-175 см). Индекс imp (импрегнированный) означает пропитку темным нефтеподобным веществом, int – интрузивные процессы. Минералогический состав изучался на глубинах: 10-32 см, 89(90)-98(100) см и 105-175 см.

Верхний слой диагностирован как горизонты Н (0-10 см) и Н<sub>imp,int</sub> (10-32 см). В 0-32 см толще встречаются живые и в различной степени полуразложившиеся корни, отмечена агрегированность субстрата, структура близка к зернистой. Горизонт сильно пористый, очень рыхлый, имеет нейтральную реакцию среды, сильно засолен с сульфатно-хлоридным типом химизма. Показатели активности ионов ( $aF^-$ ,  $aCl^-$ ,  $aNa^+$ ) высокие. Доминирующее положение среди минералов занимает биогенный кремнезем (85-90 %), представленный игольчатыми, неправильными удлинёнными формами со сросшимися кристаллами и округлыми сферами, среди которых преобладают игольчатые и трубчатые кристаллы (рис. 1). На микрофотографиях, выполненных на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP, просматриваются кремнеземные панцири и отдельные створки диатомовых водорослей, которые часто фрагментированы или замаскированы детритом (особенно мелкоклеточные экземпляры), что затрудняет их видовую идентификацию. Тем не менее оказалось возможным различить некоторые донные формы и почвенные диатомеи: *Epithemia* sp. (*Epithemia adnata*), *Caloneis* sp. (*Caloneis silicula*), *Pinnularia* sp., *Rhopalodia gibba*, *Nitzschia* spp. Сформированные кристаллы кварца в гор. Н<sub>imp,int</sub> практически не встречаются. Определены единичные минералы, состоящие из зерен пироксена, аксессуарных минералов (магнетита, циркона), а также аморфных форм оксидов следующего состава: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, SO<sub>3</sub>, F, либо SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, ZnO с очень высоким содержанием Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (20,16%), La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (25,98) и Cl (3,05 %).

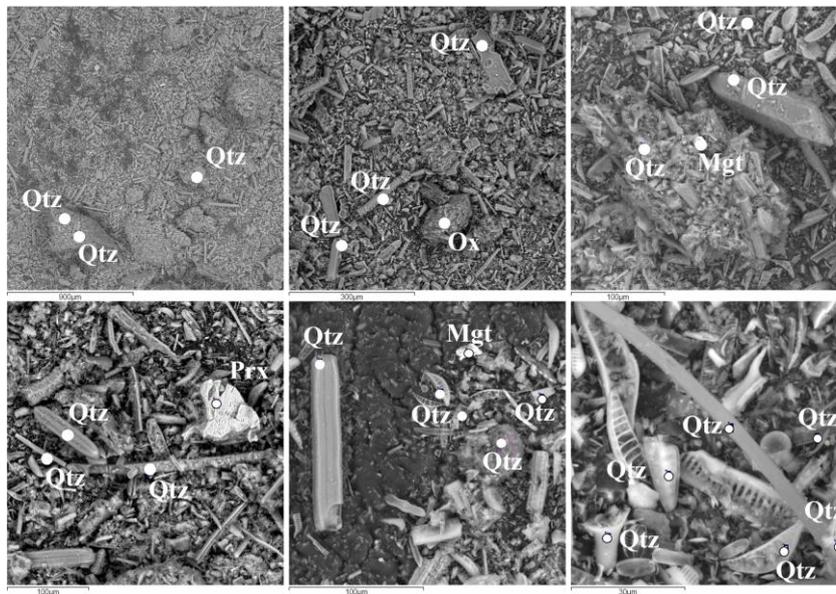


Рисунок 1. Ассоциация породообразующих и второстепенных минералов в горизонте Н<sub>imp,int</sub> (10-20 см)

Почвообразующая порода (гор. С<sub>int</sub> (32–89 см) представляет собой неоднородно окрашенный горизонт, в черной массе выражены многочисленные разводы (интрузии), локализация которых приурочена преимущественно к трещине. По правой стенке разреза морфон заканчивается на глубине 50 см; на левой стенке и в центральной части – до глубины 89 см. В верхней части горизонта присутствуют единичные экземпляры крупной гальки,

частично покрытые темной пленкой. На глубине 50 см встречаются мелкие, сильно разрушенные обломки пород. С 70 см появляется устойчивый запах сероводорода. Этот горизонт имеет глинистый состав, близкую к нейтральной реакцию среды, слабо засолен, химизм засоления содово-хлоридный, в морфоне – хлоридно-сульфатный. Среди изученных показателей наиболее контрастно по профильному распределению содержания Сорг, с глубиной оно снижается в 3 раза. В интрузивном морфоне по сравнению с горизонтом, отмечается отсутствие засоления.

Минералогический состав изучался на глубине 89(90)–98(100) см, в зоне контакта гор. Сint и Сimp (рис. 2). В этом слое на темном фоне встречаются бурые морфоны различной формы и размеров, представленные преимущественно горизонтальными блоками. Сложение аналогично выше рассмотренному горизонту: блоки с субгоризонтальным сечением и раковистым изломом, встречаются зоны импрегнирования. С 95 см появляется грунтовая вода, имеющая температуру 20,2<sup>0</sup>, значение электропроводности – 0,514 мкСм/см. В горизонте отмечается увеличение рН до сильнощелочного диапазона, засоление не выражено. Среди минералов преобладают разнообразные формы биогенного кремнезема различной формы, очень большое количество аморфных форм. Среди окристаллизованных встречаются пирит, пирротин, фенацит и оксиды. В очень большом количестве присутствуют новообразованные минералы (оксиды), в составе которых почти всегда присутствует SO<sub>3</sub>. Это свидетельствует об активно протекающих процессах минералообразования с участием сероводорода.

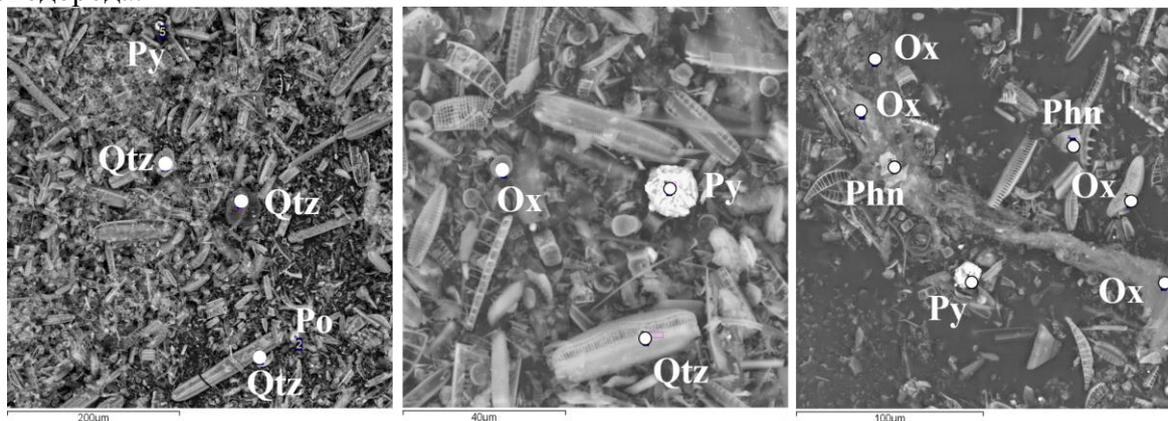


Рисунок 2. Ассоциации пороодообразующих и второстепенных минералов в горизонте Сg (89(90)-98(100) см)

С глубины 105-175 см пробы брались буром, так как со 105 см выступает теплая грунтовая минеральная вода. Горизонт черный во влажном состоянии, плотный, по левой стенке выражены линзы сизо-серого песка. Резко отличается по гранулометрическому составу (среднесуглинистый), 60 % частиц приходится на фракции среднего и мелкого песка. Отмечается увеличение в 2 раза по сравнению с вышележащим горизонтом Сорг (5,81 %), значения рН возрастают до сильнощелочных значений. Ассоциация минералов в этом слое представлена кварцем, калиевыми полевыми шпатами, единичными зернами скаполита, кислых и средних плагиоклазов (олигоклаз, андезин), кальциевых амфиболов (эденит, гастингсит), аксессуарных минералов (магнетит, ильменит, циркон) (рис. 3). Состав минералов аналогичен аллювиальным почвообразующим породам. Кварц в отличие от вышележащих горизонтов представлен в основном хорошо окристаллизованными формами. Присутствуют типоморфные минералы магматических и постмагматических процессов: скаполит (подкласс каркасных силикатов), кальциевые амфиболы эденит и гастингсит. Эти минералы могут быть подняты из глубоких слоев. Присутствие очень большого количества новообразованных минералов (оксидов), в составе которых почти всегда присутствует SO<sub>3</sub>, свидетельствует об активно протекающих процессах минералообразования в зонах разгрузки минерализованных термальных вод.

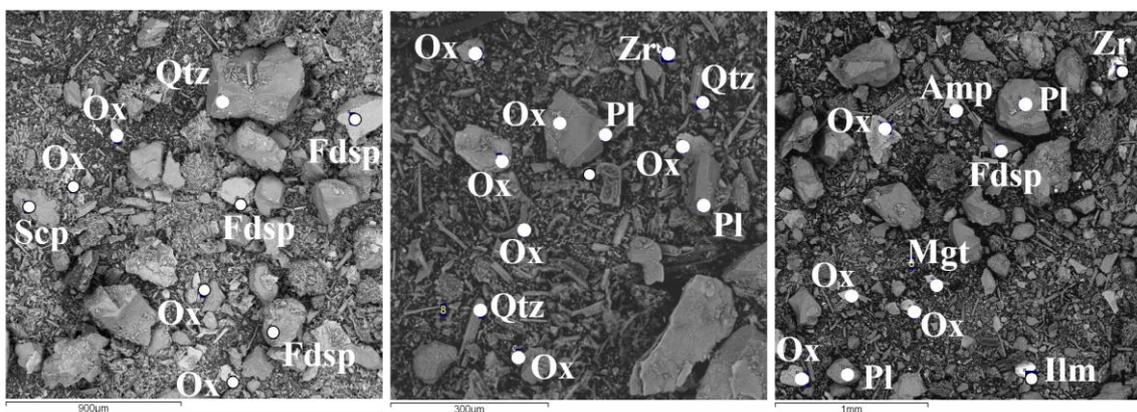


Рисунок 3. Ассоциация породообразующих и второстепенных минералов в горизонте Cimp (105-175 см)

Изучение почв диапирового острова показало, что описанные для Байкальской рифтовой зоны процессы образования гейзеритов и травертинов здесь не обнаружены. Отличие изученных почв от торфов и сапропелей выражено по низкому содержанию органического вещества, кальция и высокому содержанию  $\text{SiO}_2$ . Высокое содержание кремнезема (81,8-89,4%), а также многообразие форм кварца (85-90 %) (игольчатые, трубчатые, удлиненные, неправильной формы сросшиеся кристаллы, округлые сферы) связано с обилием кремнеземных скелетов водорослей. Эти рыхлые кремнистые отложения верхней части профиля имеют большое сходство по плотности и химическому составу с осадочной горной породой диатомит (кизельгур) или промежуточным типом отложений диатомовых сапропелей. В нижней части профиля встречаются ассоциации гидротермальных, метаморфических, в том числе магматических минералов. Особенности минералогического состава почв, формирующихся в области разгрузки термальных вод, связаны с присутствием минералов гидротермального происхождения: пирротина, пирита, фенакита, а также преобладанием в ансамбле минералов биогенного кремнезема и различных форм кварца.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № государственной регистрации 121030100228-4.*

#### Библиографический список

1. Дзюба А.А. Кулагина Н.В., Абидуева Т.И. Черных А.Л. Минеральные озера Баргузинско-Чивыркуйского перешейка // География и природные ресурсы. 2002. С. 61–67.
2. Лунина, О.В. Гладков А.С., Неведрова Н.Н. Рифтовые впадины Прибайкалья: тектоническое строение и история развития. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 316 с.
3. Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. 2013. № 5. 647–664 doi: 10.1016/j.rgg.2013.04.002
4. Тахтеев В.В., Плешанов А.С., Егорова И.Н., Судакова Е.А., Окунева Г.Л., Помазкова Г.И., Ситникова Т.Я., Кравцова Л.С., Рожкова Н.А., Галимзянова А.В. Основные особенности и формирование водной и наземной биоты в термальных и минеральных источниках Байкальского региона // Изв. Иркутского гос. университета. Сер. Биология, экология. 2010. Т.3. С.33–37.
5. Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Жамбалова А.Д. Эндогенные факторы формирования и функционирования галоморфных почв Байкальской рифтовой зоны (на примере Баргузинской котловины) // География и природные ресурсы. 2020. № 2. С. 5-19.

**Трансформация минералогического состава почв в каналах эндогенной разгрузки  
(Кучегэрское термальное поле)**

*Убугунов В.Л.<sup>1</sup>, Убугунова В.И.<sup>1</sup>, Ласточкин Е.И.<sup>2</sup>, Хромова Е.А.<sup>2</sup>, Павлов И.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия, [ubugunovv@mail.ru](mailto:ubugunovv@mail.ru)

<sup>2</sup> ФГБУН Геологический институт СО РАН им. Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ, Россия

**Аннотация.** Изучен минералогический состав почв в каналах эндогенной разгрузки геофлюидных систем Кучегэрского термального поля (Байкальский рифт, Баргузинская котловина). Выявлено разнообразие минералов, среди которых особо выделяются щелочные амфиболы (катофорит, рихтерит), источниками которых в изученных почвах не может служить горное обрамление котловины. Аккумуляция амфиболов приурочена к зонам локальных аномалий фтора, вольфрама, серы, легкорастворимых солей, в почвенном профиле, связанных с разгрузкой флюидов. Сделано предположение, что амфиболы поступают в почвы в дисперсной фазе в составе гидротермальных вод и осаждаются в импрегнированных слоях или морфонах.

**Ключевые слова:** почвы, минералогия, катофорит, рихтерит.

**Transformation of the mineralogical composition of soils in endogenous discharge channels  
(Kucheger thermal field)**

*Ubugunov V.L.<sup>1</sup>, Ubugunova V.I.<sup>1</sup>, Lastochkin E.I.<sup>2</sup>, Khromova E.A.<sup>2</sup>, Pavlov I.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, [ubugunovv@mail.ru](mailto:ubugunovv@mail.ru)

<sup>2</sup>N.L. Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

**Annotation.** The mineralogical composition of soils in the channels of endogenous discharge of geofluidic systems of the Kuchegersky thermal field (Baikal rift, Barguzin basin) has been studied. A variety of minerals has been identified, among which alkaline amphiboles (catophorite, richterite) are particularly prominent, the sources of which in the studied soils cannot be the mountain rim of the basin. Amphiboles accumulation is confined to zones of local anomalies of fluorine, tungsten, sulfur, and easily soluble salts in the soil profile associated with fluid discharge. It is assumed that amphiboles can enter the dispersed phase as part of hydrothermal waters and be deposited in impregnated layers or morphones.

**Keywords:** soils, mineralogy, catophorite, richterite.

В области разгрузки газо-гидротермальных флюидов на северо-западе Баргузинской котловины на периферии болотных массивов местами формируются прибрежные валы с турбированными импрегнированными почвами. В морфологическом строении последних отражается сочетание эндогенно обусловленных педогенных, криогенных и турбационных процессов. Почвы обладают яркой специфичностью и на данный момент их аналоги в мировой научной литературе не описаны. Характеристику системы сложения, морфологических и физико-химических особенностей слоев, морфонов этих почв мы приводили ранее в ряде публикаций [5, 3], где отмечали большое число неупорядоченных прослоек, пятен, вертикальных, субвертикальных или горизонтальных полос, клиньев, фрагментов почвенных слоев в профиле. Особый интерес для теории почвообразования в условиях внутриконтинентального рифтогенеза представляют резко контрастные темные вертикальные импрегнированные морфоны вязкопластичного состава с пока неясным генезисом, которые могут аккумулировать большое количество легкорастворимых солей, способны накапливать в аномальных концентрациях серу, вольфрам, фтор, молибден и некоторые другие элементы.

В настоящем сообщении мы сосредоточили основное внимание на минералогическом составе одного из импрегнированных морфонов и сравнительном анализе его отличий со смежно залегающим осветленным песчаным аллювием, по свойствам напоминающим канал дегазации глубинных флюидов.

Исследования проводились в Баргузинской котловине – крупнейшей суходольной впадине Байкальского рифта, в которой отмечаются максимальный тепловой поток [1], самопроизвольный выход свободных газов [2], присутствуют густая сеть тектонических разломов и разгрузка многочисленных термальных вод кульдурского типа [4].

Участок исследований расположен в окрестностях у. Кучегэр, в 100-500 м южнее Кучегэрских источников, в зоне распространения линейных повышений – береговых валов основного болотного массива, являющегося коллектором вод из грифонов гидротермальных вод, и рядом расположенных отшнурованных переувлажненных понижений аллювиальной равнины р. Индихэн (рис. 1). По нашим наблюдениям, береговые валы, а также валы-острова в болотном массиве расположены возле субаквальных грифонов гидротермальных источников [Убугунов и др., 2023] и, по всей видимости, являются следствием их разгрузки. Объектом минералогических исследований выступил профиль траншеи, расположенный на длинах 1840 и 1880 м (рис. 2). Место закладки почвенной траншеи (КД-3) – узкий перешеек между Кучегэрским болотом и небольшим замкнутым заболоченным понижением, отделенным от основного массива ( $54^{\circ}52'44,8''$  с.ш.,  $110^{\circ}59'59,2''$  в.д.). Перешеек шириной около 20 м с двух сторон оконтурен двумя выступающими береговыми валами, которые образованы путем криогенного выталкивания верхних сезонно-промерзающих слоев из переувлажненных просадок со скрытой разгрузкой гидротерм.

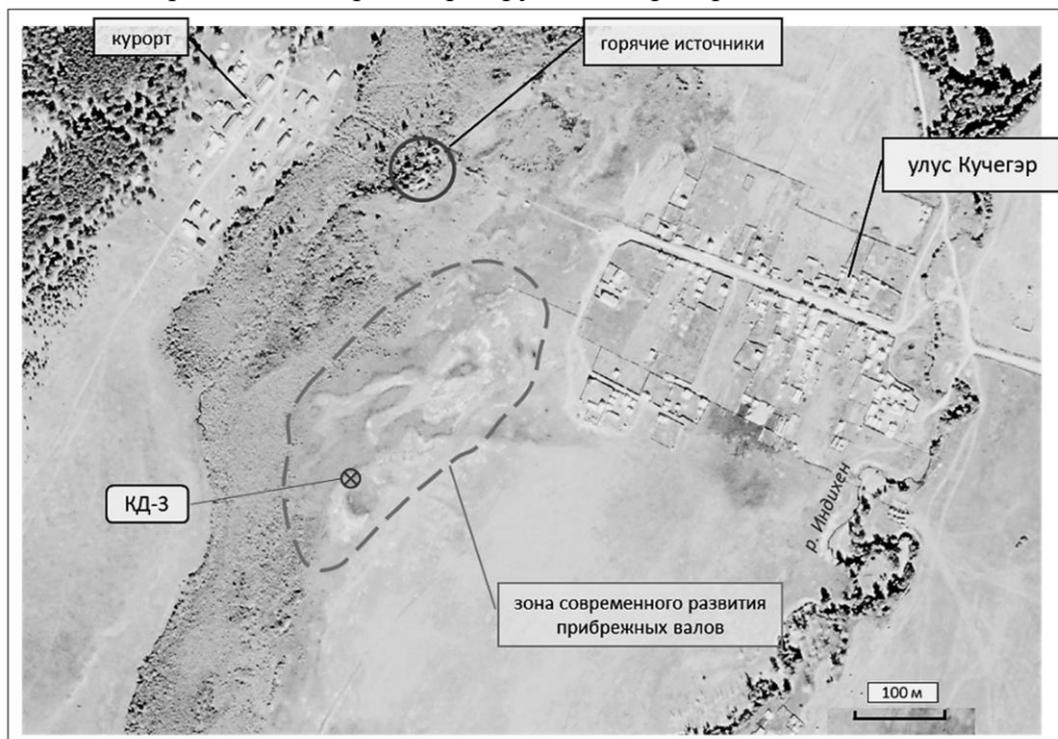


Рисунок 1. Расположение участка исследований и места закладки траншеи КД-3

Морфология почвенного профиля на изученном отрезке траншеи имеет весьма специфические черты (рис. 2). Привычная почвенная слоистость здесь практически отсутствует. Вместо нее выражены вертикально восходящие темно-серые, почти черные морфоны, чем-то напоминающие криогенные клинья, по которым произошла засыпка высокогумусированного материала. Однако мерзлотное образование клиньев в данном случае сомнительно, т.к. грунты подогреваются гидротермами и промерзают лишь на небольшую глубину. На западном фланге траншеи, на контактной с болотом позиции нами была отмечена тонкая (2 см) прослойка остаточной мерзлоты на глубине 60 см, ниже которой температура увеличивалась. Примерно на такой же глубине (50-55 см) находили прослойки остаточной мерзлоты в других частях Кучегэского болота и на некотором отдалении, на аллювиальной равнине (80 см). Сам материал, заполняющий язык-«трещину», резко отличался от верхнего гумусового горизонта, т.е. не мог быть результатом засыпки. Отличался он и от любых известных нам гумусированных почвенных слоев, имел вязкопластичный состав, сходный с подтаявшим битумом, сильно твердел, практически каменел при высыхании, трескался и дробился на прочные остроугольные агрегаты.

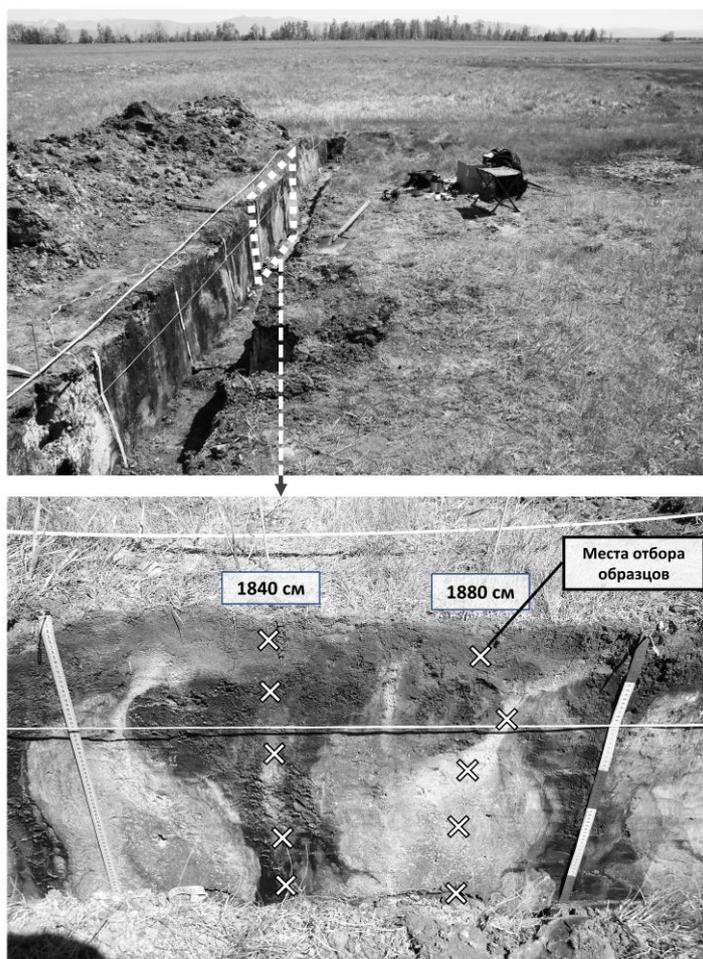


Рисунок 2. Фрагмент восточного фланга почвенной траншеи, профильное сложение почвы на отрезке 18-19 м и места отбора почвенных проб

Нефтебитумная пропитка и/или аккумуляция гидротроилита в морфоне аналитически не подтвердилась, поэтому его генезис и пока остается нам неясным. Вместе с тем, исследования показали очень богатый минералогический состав почв (рис. 3), весьма сильно отличный от фоновых песчаных отложений и почв Баргузинской котловины. Здесь выделяются минералы магматических, метаморфических и гидротермальных пород, в том числе амфиболы с повышенной щелочностью неясного генезиса. Кварц, калиевые полевые шпаты, кислые плагиоклазы (альбит, олигоклаз), ильменит, циркон, титанит, мусковит характерны для гранитоидных пород (граниты, граносиениты, пегматиты). Такая ассоциация как гастингсит, роговая обманка, андезин, диопсид, апатит, хромит, титанит, циркон указывают на присутствие базитовых пород. Более поздние минералы, тремолит, актинолит, эпидот, мусковит, барит могли образоваться в породах при метаморфических и гидротермальных процессах. Оксиды по составу варьируют, но по содержанию кремнезема можно предположить, что большая их часть относится к полевым шпатам, реже к слюдам, в единичном случае встречается оксид с очень высоким содержанием меди (60 мас.% CuO). На данном участке в почвах часто встречается щелочной амфибол, близкий по составу к катофориту ( $\text{Na}_2\text{CaFe}_4^{2+}(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})[(\text{OH}, \text{F})_2|\text{AlSi}_7\text{O}_{22}]$ ). Минерал характеризуется высокими содержаниями натрия и калия, в некоторых случаях, превышающих их содержание в обычном катофорите в 2 и более раза. Щелочные амфиболы (катофорит и рихтерит), как известно, образуются в основном в трахитах, фонолитах, жадеитах (щелочные магматические породы), пегматитах и карбонатитах.

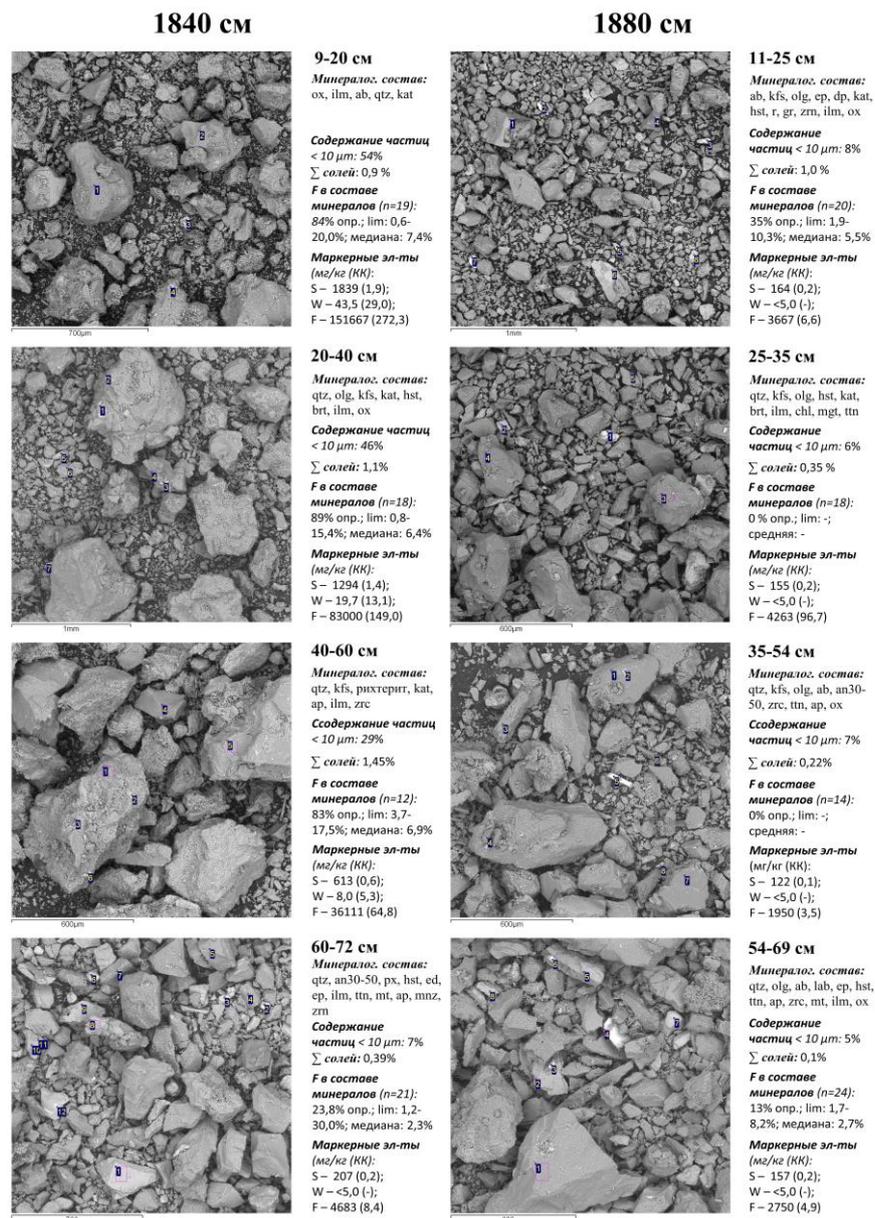


Рисунок 3. Внешний вид агрегатов и частиц, минералогический состав и некоторые свойства образцов из клина импрегнированного морфона (IMP 1840 см) и рядом расположенного осветленного песчаного канала дегазации (1880 см)

Появление перечисленных амфиболов теоретически может быть связано с привносом из разрушенных магматических пород, либо с более поздними гидротермальными процессами, происходящими на данном участке. Обращает на себя внимание большое количество амфиболов, которые не встречаются в окружающих фоновых почвах. Среди них можно особо выделить щелочные (катофорит и рихтерит), поступление которых в данную локацию из горного обрамления Баргузинской котловины, питающего позицию аллювием, представляется нам весьма сомнительным. Также маловероятно их происхождение *in situ*. На данном этапе исследований более логичным можно считать поступление этих амфиболов с грязевыми массами по тектоническим разломам и трещинам вместе с восходящими гидротермальными водами. Подтверждением эндогенного поступления веществ служат следующие почвенные признаки и геохимические маркеры (рис. 3):

- 1) В импрегнированном морфоне (длина траншеи 1840) на глубине 20-40 и 40-60 см установлена экстрааномалия фтора: его валовое содержание превышает литосферный кларк в 149-272 раза. Локальная внутривершинная аномалия подтверждает аккумуляцию эндогенных газов и растворенных солей по каналам их разгрузки.

- 2) В этих же образцах отмечаются максимумы содержаний и аномалия маркерных элементов разгрузок - вольфрама (в 13,1-43,5 раз выше кларка) и серы. Валовая S накапливается в количествах ненамного превышающих (в 1,4-1,9 раза) кларк, но на порядок выше, чем в соседнем песчаном морфоне (1880 см), где по всем глубинам концентрации значительно ниже (в 0,1-0,2 раза) кларка. Очень низкое содержание серы характерно для фоновых почв региона в целом.
- 3) Каналы разгрузки легко выделяются в профиле по морфологическим свойствам, прежде всего, визуально по осветлению цвета и органолептически по легкому гранулометрическому составу, низкой плотности сложения. Они являются наиболее доступными путями прохождения вещества в газовой фазе и в виде пара. В свою очередь, прилегающие к ним очень тяжелые по гранулометрии суглинистые и глинистые темноцветные морфоны выступают своего рода накопителями, т.к. конденсируют и удерживают в себе часть проходящего эндогенного вещества с аккумуляцией их вплоть до аномальных и экстрааномальных значений.

Механизм локальной аккумуляции специфических для изученной территории амфиболов, не свойственных породному составу горного обрамления, пока остается невыясненным и представляет большой научный интерес для дальнейших исследований, т.к. может являться одним из ключей к доказательству поступления флюидов из недр не только в виде водорастворимых солей и газов, но и в твердой фазе.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № государственной регистрации 121030100228-4.*

#### **Библиографический список**

1. Голубев В. А. Кондуктивный и конвективный вынос тепла в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск: Гео, 2007. 222 с.
2. Исаев В. П. Природные газы Баргузинской впадины. Иркутск: Изд-во Иркутского госуниверситета, 2006. 220с.
3. Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Хитров Н.Б., Ямнова И.А., Лебедева М.П., Насатуева Ц.Н. Почвоподобные образования диапировых конструкций байкальской рифтовой зоны // Природа Внутренней Азии. 2023. № 1(23). С. 79-97. DOI 10.18101/2542-0623-2023-1-79-97.
4. Хитров Н.Б., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Аюшина Т.А., Жамбалова А.Д., Цыремпилов Э.Г., Насатуева Ц.Н. Пространственное распределение состава вод болотного массива разгрузки Кучигерских гидротерм // Геохимия. 2022. Т. 67. № 6. С. 579–589. DOI: 10.31857/S0016752522050065.
5. Хитров Н.Б., Убугунов В.Л., Убугунова В.И., Рупышев Ю.А., Аюшина Т.А., Жамбалова А.Д., Цыремпилов Э.Г., Парамонова А.Е., Насатуева Ц.Н. Морфологическое строение почв в ближайшей зоне влияния Кучигерских гидротерм (Баргузинская котловина) // Почвоведение. 2019. № 12. С. 1430-1453. DOI: 10.1134/S0032180X19120074

УДК: 550.424

## Оценка влияния минерального материала хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников на химический состав почв окрестностей

*Цыренов Т.Г., Филенко Р.А*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, e-mail: master.of.pistols@mail.ru

**Аннотация.** Рудный материал хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников под действием водных потоков постепенно окисляется, вымываясь в окружающее пространство в виде вторичных соединений тяжелых металлов. Данные термического и химического анализов образцов почв обрамления хвостов обогащения, а также почв н.п. Горный Зерентуй могут свидетельствовать о наличии загрязнения материалом хвостохранилищ.

**Ключевые слова:** хвостохранилища, термический анализ, химический состав, минеральный состав, процессы окисления

## Impact assessment of mineral material of tailings dumps of Akatuevsky and Blagodatsky mines on the chemical composition of soils in the vicinity of the mines

*Tsyrenov T.G., Filenko R.A.*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: master.of.pistols@mail.ru

**Abstract.** Ore material of tailings of Akatuevsky and Blagodatsky mines under the action of water flows is gradually oxidized, leaching into the surrounding space in the form of secondary compounds of heavy metals. The data of thermal and chemical analyses of soil samples of the tailings framing, as well as soils of Gornyi Zerentui settlement may indicate the presence of contamination by tailings material.

**Keywords:** tailings, thermal analysis, chemical composition, mineral composition, oxidation processes

За полувековой период работы Акатуевский и Благодатский рудники накопили техногенный материал объемом 500 тыс. м<sup>3</sup> (1374 тыс. т) и 747 тыс. м<sup>3</sup> (2017,4 тыс. т) соответственно. Занимаемая при этом площадь составляет для бывшего Акатуевского ГОК 15 га, бывшего Благодатского ГОК – 37 га. На момент 1997 г рассчитанные запасы полезных компонентов составляли: отвалы Акатуевского рудника Pb – 3704 т; Zn – 8348 т; Ag – 25,5 т; Au – 0,44 т; Cd – 1,8 т, отвалы Благодатского рудника Pb – 12 тыс. т; Zn – 23 тыс. т; Cd – 173 т; Ag – 37,5 т; Au – 0,47 т. [Харитонов и др., 1998].

Из описания геологического строения Акатуевского и Благодатского месторождений известно, что карбонатные минералы хвостов обогащения Акатуевского рудника преимущественно представлены кальцитовыми разностями, в то время как в случае с образцами Благодатского рудника – преимущественно доломитовыми. Более поздние работы по изучению хвостов обогащения методом термического анализа показали, что доля карбонатных минералов в техногрунтах Акатуевского и Благодатского в отобранных образцах техногрунтов варьирует от 30 до 45 %. Содержание сульфидов в образцах хвостохранилищ находится в пределах 5-10 % [Филенко, Юргенсон, 2017; Цыренов, Филенко, 2022].

Представленные на рисунке 1 графики термических реакций хвостохранилищ показали, что зарегистрированные при измерении позднетемпературные эндотермические эффекты можно объяснить наличием значительной доли в минеральном составе преимущественно кальцитово-англезитовых разновидностей карбонатов для проб Акатуевского рудника, и преимущественно доломитовых разновидностей – для проб Благодатского рудника.

Ранне-, и среднетемпературные термические эффекты в образцах Акатуевского и Благодатского хвостохранилищ позволяют предположить наличие в навесках различных минеральных карбонатных и оксидных примесей, получаемых в результате окисления частиц изначальных руд и вмещающих пород рудников. Изученные образцы техногрунтов Благодатского рудника позволяют также предположить наличие сульфосолей, вероятно свинцово-сурьмяного состава. Также отмечаются температурные эффекты, связанные с процессами испарения связанной воды, а также процессами диссоциации новообразованных сульфатов, в частности гипсов [Филенко, Юргенсон, 2017].

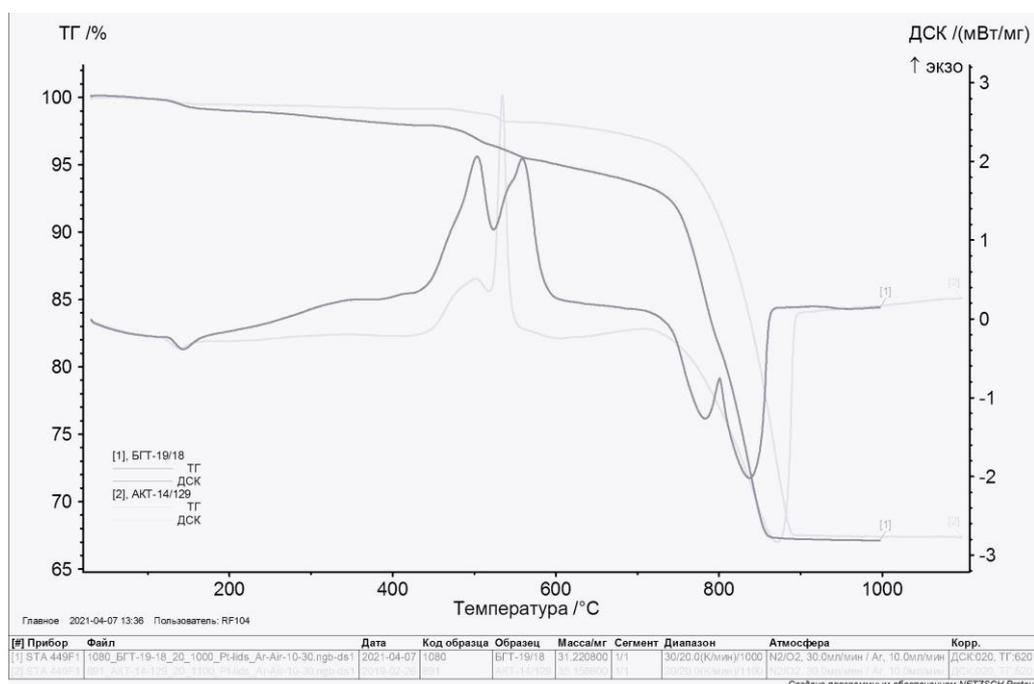


Рисунок 1. Термограмма проб техногрунта из хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников.  
Цифрами: 1 – Благодатский рудник, 2 – Акатуевский рудник

Результаты термического анализа согласуются как с данными химического состава образцов техногрунта рудников, так и со сведениями о минеральном составе хвостов обогащения. Так, в пробах отмечаются значительные содержания таких халько- и сидерофильных элементов, как As – 8757 г/т и 8015 г/т, Pb – 3328 г/т и 7124 г/т, Zn – 9312 г/т и 15924 г/т, Cd – 48 г/т и 77 г/т; Cu – 256 г/т и 176 г/т; Sb – 47,8 г/т и 323 г/т; Fe – 8,75% и 10,1%. Наряду с этим выявлены значительные процентные содержания следующих литофильных элементов: Al – 1,58 и 0,62%, Ca – 16,2 и 17,3%, Cr – 35,2 и 51,8%, Li – 43,4 и 1,2%, Mg – 3,8 и 7,4%

Анализ минерального состава образцов хвостохранилища Акатуевского рудника показал наличие следующих минералов (по убыванию по встречаемости): пирит, галенит, арсенопирит, сфалерит, платнерит, пирротин, кальцит, КПШ. Образцы хвостов обогащения Благодатского рудника имеют в своем составе следующие минералы: пирит, буланжерит, арсенопирит, иорданит, сфалерит, доломит, галенит, церуссит, платнерит, кварц, а также окислы рудных металлов. Из литературных источников известно, что окисление сульфидных минералов, характерных в том числе для техногрунтов хвостов обогащения Акатуевского и Благодатского рудников, происходит по следующей схеме: исходные сульфиды – сульфаты металлов – карбонаты металлов – оксиды металлов. С учетом наличия в минеральном составе карбонатов тяжелых металлов, данный факт может свидетельствовать о наличии изменений химического и минерального состава почв зоны воздействия рудников.

Графики термограмм образцов почв в обрамлении хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского рудников, а также селитебных почв населенного пункта (н.п.) Горный Зерентуй показали наличие термических эффектов, характерных для карбонатов и оксидов – продуктов окисления рудных частиц. Сравнение с литературными данными позволяет предположить частиц сидерито-смитсонового состава преобладание в образцах почв обрамления Акатуевского рудника. Данные по термическим эффектам Благодатского рудника показали различия в предположительном валовом составе образцов (рисунок 2). Данные образца почвы, отобранного в 30 м от правого борта хвостохранилища, показали термические эффекты, характерные для минералов алюмосиликатного ряда в случае с ранними термическими реакциями, и минералов предположительно карбонатного ряда для более поздних реакций диссоциации. [Иванова и др., 1974].

В сравнении с графиками почвы правого борта хвостохранилищ, образец, отобранный в

районе левого борта хвостов обогащения, показал термические эффекты, характерные для минералов из ряда оксидов, вероятно образовавшихся в процессе окисления частиц непереработанных свинцово-цинковых руд. Малые позднетемпературные эндотермические эффекты в навеске, предположительно обусловлены наличием незначительного количества частиц минералов карбонатного ряда. Полученные в результате сведения о предположительном минеральном составе почв в обрамлении хвостов обогащения в целом коррелируют с данными химического состава образцов почв, в особенности с измеренными в рамках текущего исследования содержаниями таких лито- и халькофильных элементов, как As (796 и 150 г/т), Pb (879 и 321 г/т), Zn (1288 и 470 г/т) Al (6,7% и 7,2%) и Ca (3,4% и 1,8%).

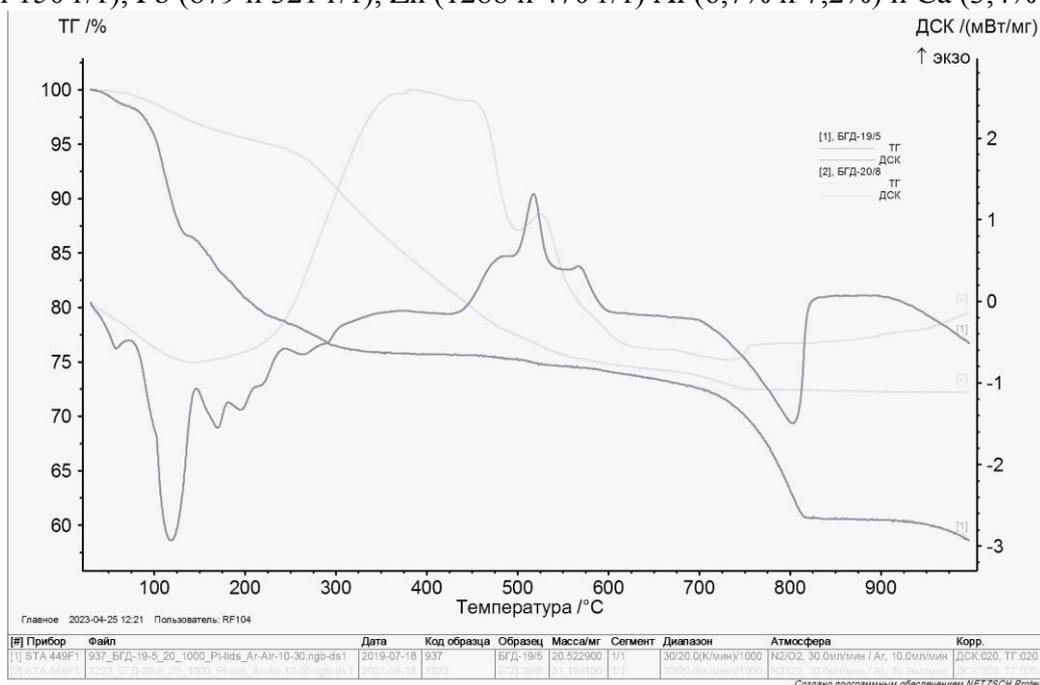


Рисунок 2. Термограмма проб почв обрамления хвостохранилища Благодатского рудника. Цифрами: 1 – образец 19/5 (район правого борта), 2 – образец 20/8 (район левого борта)

Термограмма селитебных почв из н.п. Горный Зерентуй по общему рисунку термических эффектов напоминает пробу почвы, отобранную в районе левого борта хвостохранилища Благодатского рудника, за исключением более равномерной потери массы измеряемой навески, что говорит о сходном минеральном составе образцов. Несмотря на существенную удаленность точек опробования селитебных почв от основного источника загрязнения (порядка 2-2,5 км от хвостов обогащения Благодатского рудника), данные о содержании в химическом составе селитебных почв таких тяжелых металлов как As (260 г/т), Pb (459 г/т) и Zn (713 г/т) свидетельствуют о значительном загрязнении тяжелыми металлами элементов окрестностей Благодатского, а также и Акатуевского рудников.

Известно, что в пробах водных потоков полиметаллических месторождений содержание сульфат-ионов ( $SO_4^{2-}$ ), гидрокарбонат-ионов ( $HCO_3^-$ ) повышается с увеличением pH, что вероятнее всего вызвано диссоциацией карбонатных минералов, входящих в состав отвалов руд и хвостов обогащения Акатуевского и Благодатского рудников [Чечель, Замана, 2019].

С учетом данных химического состава почв можно сделать вывод о том, что ионы тяжелых металлов, выделяющиеся в процессе окисления из непереработанных свинцово-цинковых руд, в конечном итоге оседают в близлежащих почвах, загрязняя её. Таким образом, именно постепенное растворение временными и постоянными водотоками минеральных частиц руд и техногрунтов, а не их механический перенос является основным способом переноса по элементам системы «горная породы/руды – хвостохранилище – почвы».

### **Библиографический список**

1. Филенко Р.А., Юргенсон Г.А. Опыт применения термического анализа при изучении технозёмов из некоторых хвостохранилищ Забайкальского края // Минералогия техногенеза. 2017. № 18. С. 227-234.
2. Цыренов Т.Г., Филенко Р.А. Минералого-геохимические особенности хвостохранилищ Акатуевского и Благодатского полиметаллических месторождений Забайкалья и их геоэкологическая оценка // Материалы III Всероссийской конференции с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез» Чита, 2022, С. 371-374.
3. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. // Ленинград: «Недра», 1974. 399 с.
4. Чечель Л.П., Замана Л.В. Геохимические типы вод хвостохранилищ свинцово-цинковых месторождений Восточного Забайкалья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 4. С. 17–25.

## 4. Современное минералообразование. Геохимические барьеры. Рациональное природопользование

УДК 549.08; 550.46; 552.56

### Минеральные ассоциации антропогенного минералообразования в пределах развития железородной осадочной формации Западной Сибири

*Асочакова Е.М.<sup>1</sup>, Вологодина И.В.<sup>2</sup>, Дутова Е.М.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия,

<sup>1</sup>e-mail: [ev.asochakova@gmail.com](mailto:ev.asochakova@gmail.com), <sup>2</sup>e-mail: [irvalvo@inbox.ru](mailto:irvalvo@inbox.ru)

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,  
<sup>3</sup>e-mail: [dutova@tpu.ru](mailto:dutova@tpu.ru)

**Аннотация.** Работа посвящена изучению процесса антропогенного минералообразования в системах водоснабжения Западной Сибири и сравнению его с природным процессом формирования железородных месторождений эпохи мела-палеогена. Объекты исследования включают осадки водопроводов и оолитовые железные руды Бакчарского месторождения. Проведённые исследования показали общность механизмов минералообразования, выраженную в формировании концентрически-зональных агрегатов, состоящих преимущественно из гидроксидов железа и карбонатов, при изменении условий среды

**Ключевые слова:** гидрогенные осадки, оолитовые руды, Западная Сибирь

### Mineral associations of anthropogenic mineralization within the iron ore sedimentary formation of Western Siberia

*Asochakova E.M.<sup>1</sup>, Vologdina I.V.<sup>2</sup>, Dutova E.M.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,

<sup>1</sup>e-mail: [ev.asochakova@gmail.com](mailto:ev.asochakova@gmail.com), <sup>2</sup>e-mail: [irvalvo@inbox.ru](mailto:irvalvo@inbox.ru)

<sup>3</sup> National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia, e-mail: [dutova@tpu.ru](mailto:dutova@tpu.ru)

**Abstract.** The work is devoted to the study of the process of anthropogenic mineralization in the water supply systems of Western Siberia and its comparison with the natural process of iron ore formation of the Cretaceous-Paleogene era. The objects of study include sediments of water pipes and oolitic iron ores of the Bakchar deposit. The conducted studies have shown the commonality of mineral formation mechanisms, expressed in the formation of concentric-zonal aggregates consisting mainly of iron hydroxides and carbonates, with changes in environmental conditions

**Keywords:** hydrogenic sediments, oolitic ores, Western Siberia

Западная Сибирь расположена на одноимённой плите, где осадочный чехол представлен мезо-кайнозойскими отложениями, включая континентальные и морские фации. Железородные формации, слагающие месторождения – Бакчарское (Томская область) на востоке и Синаро-Теченское (Курганская область) на западе и др., сформированы в мел-палеогеновое время. Все эти месторождения объединяются в Западно-Сибирский железородный бассейн. Сами руды представлены железосодержащими песчаниками оолитового гётит-гидрогётитового и глауконит-хлоритового состава. Главной составляющей являются оолиты – шаровидные, эллипсоидальные или близкие к ним агрегаты минералов, обладающие концентрически-зональным строением, достигающие 2 мм в поперечнике. Источником железа для образования оолитовых руд выступали речные и болотные воды («взвешенное железо»), и подземные воды («растворенное железо» – грунтовые, поровые, катагенные, гидротермальные) [5].

Учитывая тот факт, что на территории Западной Сибири также располагается одноименный артезианский бассейн, водоносные комплексы, которого связаны с толщей осадочных отложений мезо-кайнозоя и породами складчатого фундамента плиты, то образование железных руд связано с активной фильтрацией огромных масс воды через хорошо проницаемые отложения, перекрытых сверху и снизу глинами и алевролитами. Гидрогеологический разрез региона характеризуется сильно обводненными отложениями и двухэтажным строением, объединяющим две гидродинамические зоны: интенсивного и замедленного водообмена. Подземные воды района Бакчарского железородного месторождения, заключенные в пяти водоносных горизонтах, практически повсеместно

содержат повышенные и высокие концентрации ионов Fe до 10 мг/л, а также Mn и органического вещества. Воды от пресных до слабо минерализованных, по составу от гидрокарбонатных кальциевых до гидрокарбонатных натриевых и даже хлоридных натриевых [2, 3].

Антропогенное минералообразование охватывают процессы образования минералов, вызванные деятельностью человека и в отличие от природных, они происходят в результате человеческой деятельности, часто в техногенных средах, таких как промышленные объекты, системы водоснабжения, нефтяных скважинах и т.д. Некоторые исследователи относят это к процессам гидрогенного минералообразования, т.е. обусловленные деятельностью подземных вод, которые характеризуются широким региональным распространением в континентальных блоках земной коры и в явном виде не связанные с магматизмом. Минералообразование из подземных вод происходит при смене обстановки и описывается теорией геохимических барьеров [1]. Такие объекты также представлены полиминеральными смесями, включающими оксиды и гидроксиды железа, карбонаты (кальцит, арагонит) и фосфаты. Эти осадки выводят из раствора не только основные элементы (Fe, Mn, Ca), но и примеси (Pb, Cu, Zn, Sr) [4]. Процессы их образования схожи с формированием природных железных охр и осадочных железных руд, что позволяет использовать их как модель для изучения более древних рудогенных систем.

Цель работы показать тождественность минералообразующих процессов современных гидрогенных образований и мел-палеогеновых железоносных осадков Западной Сибири.

Объектом наших исследований являются осадки систем водоснабжения, формирующиеся на всех этапах водоподготовки при эксплуатации водозаборов из подземных источников и оолитовые железные руды Бакчарского месторождения. Пробы образцов обоих типов были изучены методами рентгенофазового анализа, РЭМ РСМА и ИСП МС в Центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» ГГФ ТГУ.

Томский водозабор расположен в 10–15 км от Томска в пределах Западно-Сибирской плиты. Основные водоносные горизонты неоген-четвертичного и палеогенового отложений сложены рыхлыми песчано-глинистыми образованиями, разделенными водоупором. Вследствие этого в палеогене развиты напорные воды, которые эксплуатируются скважинами глубиной 60–100 м. Производительность водозабора 200–220 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Развиты здесь воды пресные слабощелочные гидрокарбонатные кальциевые и отличаются повышенной жесткостью с содержанием Fe, Ti, CO<sub>2</sub>. Относительно мало органического вещества, азотистых, кремнистых и фосфорных соединений, а также свободного кислорода [4].

Исследования минерального состава бакчарских руд выявили терригенные, аутигенные и глинистые комплексы. Терригенная часть состоит из полевых шпатов, кварца, магнетита, ильменита и циркона. Аутигенная минерализация включает гётит, гидрогётит, лепидокрокит, сидерит, фосфаты, сульфиды, самородное серебро. Глинистая часть представлена глауконитом, хлоритом, каолинитом и иллитом. Руды характеризуются повышенными уровнями накопления Zn, Mo, Pb, As, Co, V, Cr и PЗЭ.

Если говорить о сходстве, то современные гидрогенные осадки и оолитовые железные руды имеют общие черты, такие как концентрически-зональные агрегаты (оолиты), сложенные гидроксидами железа и карбонатами (сидерит, кальцит) и формирование в условиях изменения окислительно-восстановительного потенциала. По уровню накопления элементов-примесей образования «томского водозабора» соответствуют именно гидрогенным процессам (Mn, Ba, Sr, PЗЭ и др.). Бакчарские оолитовые руды отличаются более сложной структурой (оолиты имеют весьма разную морфологию и соотношение минералов) и значительными концентрациями железа (до 56 % Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>), что связано с длительными процессами диагенеза и постседиментационных изменений (рис.1).

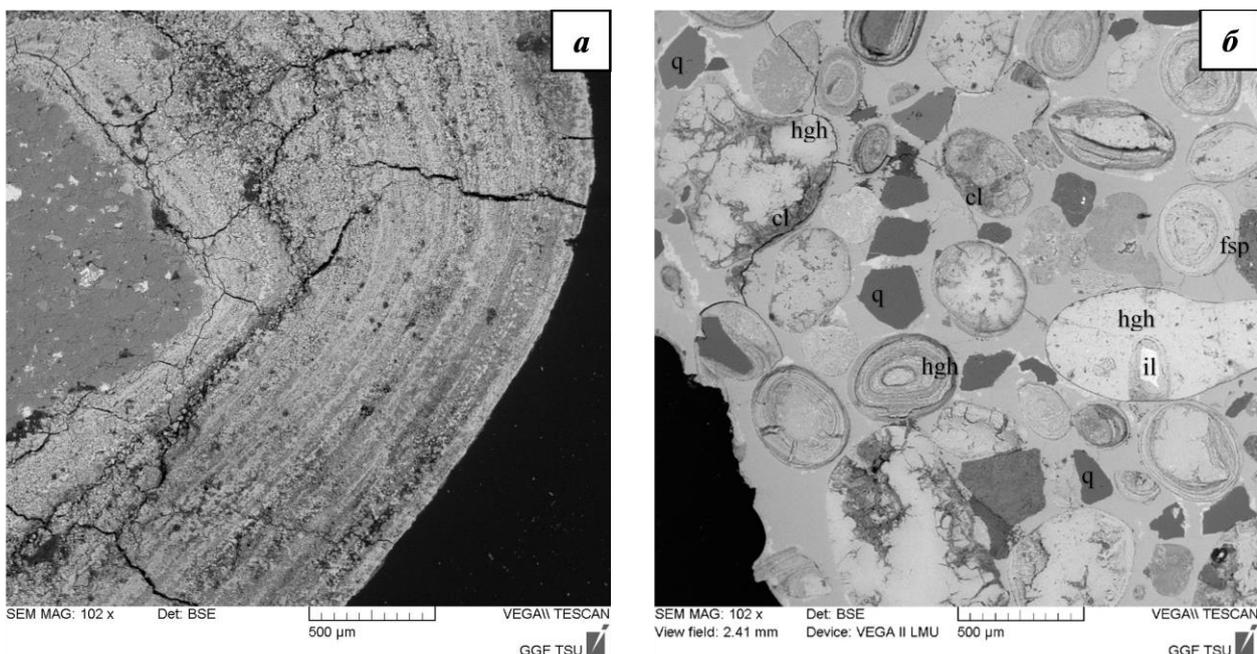


Рисунок 1. Результаты РЭМ РСМА, Изображения BSE. Оолиты: а – сформированные на Томском водозаборе: в центре зерно загрузки фильтра с концентрически-зональным железоксидным агрегатом; б – оолитовая железная руда Бакчарского месторождения, q – кварц, cl – хлорит-глинистый агрегат, gh – гётит-гидрогётитовый агрегат, il – ильменит, si – сидерит, fsp – КПШ.

### Библиографический список

1. Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н. Гидрогенное рудообразование. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 608 с.
2. Кузеванов К.И., Кузеванов К.К., Дутова Е.М., Покровский В.Д. Гидрогеологические условия Бакчарского железорудного месторождения и предварительная оценка водопритоков // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 4 (65). С. 22–36.
3. Иванова И.С., Лепокурова О.Е. Особенности микроэлементного состава подземных вод территории Бакчарского железорудного узла (Томская область) // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 398. С. 224–232.
4. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области / Покровский Д. С., Дутова Е. М., Рогов и др.; под ред. Д. С. Покровского. Томск: НТЛ, 2002. 176 с.
5. Рудмин М.А. Месторождения осадочных железняков Западной Сибири: условия формирования и перспективы освоения попутных компонентов : диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук : спец. 1.6.10; науч. конс. А. К. Мазуров ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2024. 90 с.

**Особенности минералогии солончаков Нижнеоронгойской котловины  
(Селенгинское среднегорье)**

*Аюшина Т.А.<sup>1</sup>, Убугунова В.И.<sup>1</sup>, Жамбалова А.Д.<sup>1</sup>, Убугунов В.Л., Ласточкин Е.И.<sup>2</sup>*

ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия  
ubugunova57@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУН Геологический институт СО РАН им. Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ, Россия

**Аннотация.** В Нижнеоронгойской котловине формируются сильнозасоленные почвы, в которых присутствуют минералы содового типа галогенеза (трона, накхолит), сульфатного (тенардит, мирабилит), смешанного сульфатно-содового и содово-сульфатного. Такое разнообразие связано с различными источниками солей, поступающих в почву при разгрузке слабоминерализованных вод различного состава.

**Ключевые слова:** солончаки, минералогия, Нижнеоронгойская котловина

**Mineralogical features of solochaks of Nizhneorongo depression  
(Selenginsky Middle mountains)**

*Ayushina T.A.<sup>1</sup>, Ubugunova V.I.<sup>1</sup>, Zhambalova A.D.<sup>1</sup>, Ubugunov L. L., Lastochkin E.I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia  
ubugunova57@mail.ru

<sup>2</sup>Geological Institute SB RAS named after N.L. Dobretsov, Ulan-Ude, Russia

**Abstract.** Highly saline soils contained minerals of the soda halogenesis type (trona, nakholite), sulfate type (thenardite, mirabilite), mixed sulfate-soda and soda-sulfate types, are formed in the Nizhneorongo Depression. This diversity is associated with different sources of salts entering the soil when low mineralized waters of various compositions discharged.

**Keywords:** solonchaks, mineralogy, Nizhneorongo Depression

В мезозойских котловинах Селенгинского среднегорья встречаются засоленные почвы. Процесс соленакопления многофакторный, связан с горно-котловинным рельефом, гидрогеологическим строением, наличием мерзлоты, аридным климатом, сульфидсодержащими угленосными породами, Na алюмосиликатами и нефелиновыми сиенитами [5]. На процессы галогенеза влияют в значительной степени и особенности конкретных котловин, обуславливая различную степень и химизм засоления почв. В пределах Селенгинского среднегорья наиболее сильное засоление почв проявляется в Иволгинско-Оронгойской депрессии. Возможно, что дополнительным источником легкорастворимых солей в ней являются многочисленные разгрузки слабоминерализованных вод, приуроченные к Гильберинскому, Иволгинскому, Куйтунскому и другим тектоническим разломам, контролируемых глубинным Джидино-Витимским. Поступление вод активизирует химическое выветривание пород, обуславливая морфологические, физико-химические особенности почв, а также способствует формированию специфических парагенезисов соляных минералов. Установление типа галогенеза имеет важное теоретическое и практическое значение. Одним из информативных показателей является минералогический состав почв. По Бурятии охарактеризованы только ассоциация минералов в солонцах Баргузинской котловины [3]. Цель данной работы - изучить разнообразие минералов в солончаках Нижнеоронгойской котловины.

**Объекты и методы исследования**

Объектом исследования послужили солончаки квазиглеевые (S-Qs-CQs) разного химизма засоления, расположенные в приозерных понижениях (разр. 11, N51°33'03.06", E 107°04'33.71"), в области аккумуляции конечного стока вод источников Ута-Булаг № 1-12 (разр. 5, N51°37'08,1", E 107°08'28,1") и источника №15 (разр. 9, N51°37'11,3" , E 107°09'01,3"), а также автоморфных солончаков предгорной части хр. Хамар-Дабан (разр. 17, N51°36'20.52", E 107°07'38.07"). Факторы почвообразования этой территории рассматривались нами ранее [4].

Анализ физико-химических и химических свойств почв проведен стандартными общепринятыми методами [1]. Анализ минерального состава твердого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP).

**Результаты исследований.** Солончаки квазиглеевые сульфатно-содовые (разр.5) и содово-сульфатные (разр.9) расположены в аккумулятивной части котловины, в зоне стока разгружающихся слабоминерализованных вод минеральных источников Ута-Булаг (рис. 1). Изученные солончаки имеют тяжелый гранулометрический состав, сильнощелочную реакцию среды (pH 9,0-10,1), бурно вскипают от 10% HCl, в составе поглощенных катионов преобладает обменный натрий, характерны высокие показатели  $aNa^+$ , почвы имеют очень сильную степень засоления. Максимальная концентрация солей отмечается в верхних горизонтах (табл. 1, рис. 1). Отличия между ними выражены в химизме засоления: сульфатно-содовый в разр. 5, содово-сульфатный – в разрезе 9 (табл.1).

Таблица 1. Некоторые физико-химические свойства солончаков Нижнеоронгойской котловины

№	Глубина, см	pH <sub>вод</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Сумма солей	Сумма токс. солей	Тип засоления по анионам	Na обм.	aNa <sup>+</sup>	Частицы <0,01 мм
							% от ППК	ммоль/л	%
5	0-8	9,9	2,3	1,46	1,30	SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>	58	24,6	31
	8-33	10,1	2,5	1,35	1,29		68	60,3	47
	33-73	10,0	6,9	0,77	0,75		61	30,2	59
9	0-3	9,0	7,7	2,14	1,98	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	63	42,7	71
	3-8	9,6	8,4	1,29	1,27		73	83,2	83
	8-40	9,6	6,8	1,14	1,12		63	75,9	83
	40-60	9,4	6,0	1,27	1,25		62	87,1	84
	60-79	9,3	9,2	1,40	1,28		69	67,6	85
11	+0,5-0	9,1	1,7	20,76	20,71	SO <sub>4</sub>	99	177,8	не опр
	0-47	9,3	3,0	4,94	4,92		93	154,9	60
	47-64	9,2	2,1	2,99	2,98		92	134,9	77
17	0-4	9,2	1,3	1,55	1,47	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	71	37,2	21
	4-70	9,5	0,8	3,09*	2,97*	SO <sub>4</sub>	81	38,9	56

Примечание: \* – 10-20 см; не опр. – не определяли

По результатам водной вытяжки квазиглеевого сульфатно-содового солончака (разр. 5) установлено, что легкорастворимые соли аккумулируются на испарительном барьере. В солевом растворе присутствуют в больших количествах CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, количество сульфатов в 3,2 раза ниже карбонатов, меньше всего хлоридов. Из катионов преобладает натрий (рис.1). Поверхностный горизонт максимального скопления солей характеризуется сульфатно-содовым натриевым составом, очень сильной степенью засоленности. Количество легкорастворимых солей высокое (1,458%), большинство из которых токсичные (1,296%). Нетоксичные соли представлены гипсом и углекислым кальцием. В составе легкорастворимых солей преобладают карбонатные соли (51-64%). Вероятно отложение следующих минеральных солей на поверхности почвы в порядке уменьшения: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaCl, CaSO<sub>4</sub>, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (рис. 2). Следует отметить, что влажность и температура оказывают влияние на концентрацию почвенного раствора, диффузию, реакции обмена между раствором и твердой фазой. С изменением влажности почвы происходит изменение минерализации почвенного раствора, поэтому при разных значениях влажности почвенные соли могут находиться также в виде кристаллогидратов

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . При осадках ввиду высокой растворимости солевые минералы могут исчезать. На высокую эфемерность минералов солевых отложений показано в [2].

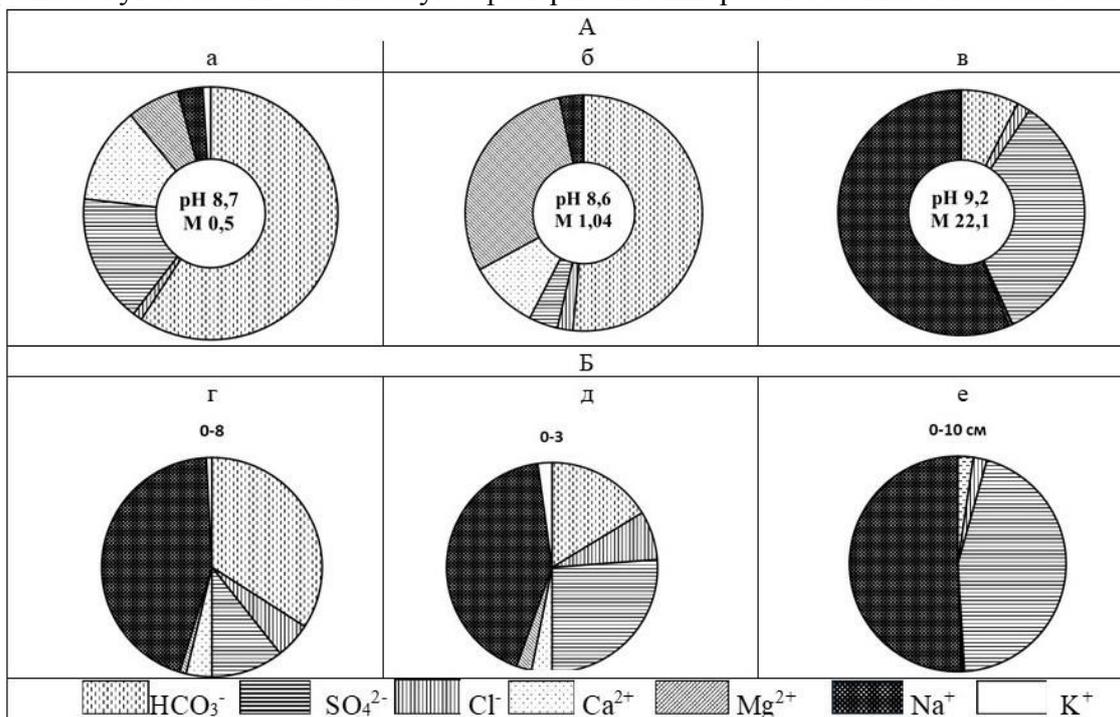


Рисунок 1. Химический состав: А – минерализованных вод (а – источник Ута-Булаг №1-14; б- источник Ута-Булаг №15; в– озеро Безмянное); Б– поверхностных горизонтов солончаков, формирующихся в зоне влияния этих вод (г – разр.5, д – разр.9, е – разр. 11)

По данным электронной микроскопии в составе минералов поверхностного горизонта почвы разреза 5 присутствуют гастингсит, рибекит, паргасит, биотит, хлорит, титанит, циркон, оксиды. Это типичная габброидная ассоциация минералов. Минералогический состав мелкозема почвообразующих пород (разр.5, глубина 33-73 см) представлен минералами базитовой и гранитоидной типов пород: кварц, калиевые полевые шпаты, андезин, эпидот, сидерит, гастингсит, тарамит, ульвошпинель, армальколит, хлорит, барит, циркон, магнетит.

В солевом растворе содово-сульфатного солончака (разр.9) максимальное содержание среди анионов составляют сульфаты, также отмечается достаточно высокое содержание карбонатов (табл.1, рис.1). Из катионов доминирует натрий. Химизм засоления почвы сульфатно-натриевый, степень засоления очень высокая. Сумма легкорастворимых солей составила 2,144%, токсичных –1,982%. Расчет гипотетических солей показал отличия их состава по сравнению с квазиглеевым сульфатно-содовым солончаком (разр. 5). Больше всего образуется сульфатной соли  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , далее следуют  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . По данным электронной микроскопии в 0-3 см слое разнообразие минералов представлено кварцем, калиевыми полевыми шпатами, андезином, гастингситом, саданагаином, феррогастингситом, биотитом, хлоритом, эпидотом, цирконом, титанитом, магнетитом, оксидами. Почвообразующий мелкозем (60-79 см) имеет следующий состав минералов: кварц, калиевые полевые шпаты, андезин, биотит, кальцит, гастингсит, катофорит, эденит, тарамит, магнезиосаданагаит.

Различия в составе минералов солончаков разр.5 и разр. 9 связаны, по-видимому, с различным составом выклинивающихся вод. Разрез 5 находится в зоне влияния источника Ута-Булаг, вода которого имеет низкую минерализацию ( $M=0,5$  г/л), гидрокарбонатно-кальциевый состав. Разрез 9 расположен рядом с выклинивающимся в долине источником 15, воды которого имеют сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав и повышенную минерализацию ( $M=1,0$  г/л). В составе вод источника Ута-Булаг отмечается высокое содержание ионов кальция, вероятно, поэтому в почвах присутствует некоторое

количество гипса. Предположительно гипс гидрогенного происхождения, связанный с перемещением восходящих растворов. По содержанию гипса почвы одинаковы, но резко отличаются по соде, тенардиту, галиту.

Солончак гидроморфный сульфатный (разр. 11) расположен в замкнутом понижении недалеко от небольшого озера с сильноминерализованными водами (рис.1). Поверхность почвы кочковатая и обильно покрыта рыхлыми белыми выступами солей. Весь профиль влажный, в нижних слоях мокрый, рН 9,1-9,3, вскипание от HCl бурное с поверхности, в горизонте Cg ослабевает. С глубины 47 см резко усиливаются признаки глееватости в виде сизовато-темно-серого цвета, горизонт Cg бесструктурный. На поверхности почвы встречаются обломки разнообразных пород: габбро, кварцита, песчаников.

Близость гидроморфного сульфатного солончака (разр.11) к сильноминерализованному озерцу (M=22 г/л, рН 9,2, гидрокарбонатно-сульфатный натриевый состав) в значительной степени влияет на формирование солевого состава почв. По данным водной вытяжки он идентичен составу вод соленого водоема. Максимум легкорастворимых солей приурочен к поверхностным горизонтам (табл.1), в солевой корке концентрация их составляет 20,71%, все соли токсичные (20,66%). Тип засоления сульфатный натриевый с участием соды. Расчет гипотетических солей показал доминирование минералов сульфатно-натриевых солей (мирабилит, тенардит). Также присутствуют сода, галит, бикарбонаты кальция и магния, но их доленое участие в составе легкорастворимых солей невысокое (рис. 2). По данным ЭМ в составе минералов в 0-3 см слое встречаются альбит, биотит, саданагаит, ферропаргасит, смитсонит, циркон, апатит, магнетит, оксиды. В горизонте С (23-72 см) ассоциация минералов включает кварц, биотит, гетит, гастингсит, кордиерит, целестин, апатит, рутил, циркон, рутил, также обнаружены оксиды.

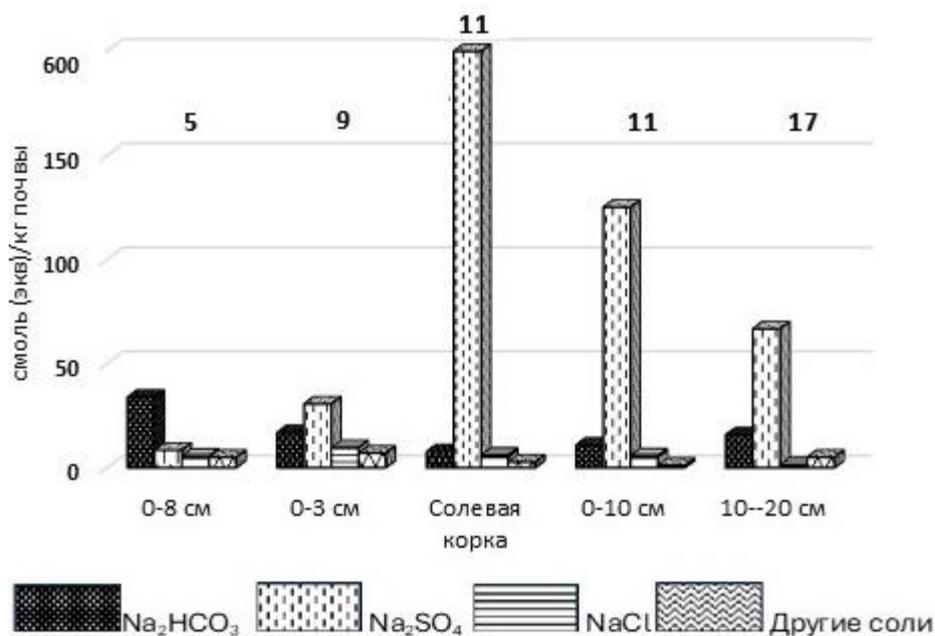


Рисунок 2. Основные солевые новообразования

Сильнозасоленные участки сульфатных солончаков с аномальными концентрациями P, As формируются на подгорном склоне хр. Хамар-Дабан (разр. 17). Автоморфные засоленные почвы в пределах региона не описаны вообще. Можно предположить, что их формирование возможно связано с активизацией сейсмоактивного Хамбинского разлома во время катастрофического 8-ми балльного Оронгойского землетрясения 1980 г. и «выбросом» соленасыщенных растворов. Иных источников солей нами не обнаружено. В изученных солончаках транзитно-аккумулятивной позиции (разр. 17) отмечается очень сильное засоление всего профиля. С поверхности сумма легкорастворимых солей составляет 1,492%, химизм засоления сульфатно-содовый. Максимальная концентрация солей (2,765-3,034%)

сульфатного химизма отмечена на глубине 10-40 см. В нижней части профиля содержание легкорастворимых солей незначительно уменьшается (до 1,492%) и химизм меняется на сульфатно-содовый. Доля токсичных солей составляет 95%. По расчетам гипотетических солей преобладают сульфатные (мирабилит) и карбонатные соли (трона, нахколит). Состав минералов по данным электронной микроскопии представлен в 0-10 см слое кварцем, калиевыми полевыми шпатами, альбитом, биотитом, мусковитом, эденитом, хлоритом, монацитом, цирконом, магнетитом, гранатом, гетитом. Разнообразие минералов гор. С включает калиевый полевой шпат, биотит, сидерит, гастингсит, монацит, оксиды.

Изучение солевых минералов в солончаках Нижнеоронгойской котловины выявило разнообразие типов галогенеза в изученных почвах: содового, сульфатного, смешанного сульфатно-содового и содово-сульфатного. Такое разнообразие исключает влияние климатического, геоморфологического, мерзлотного факторов, так как они расположены компактно в пределах небольшой 20-км котловины. На этой территории отсутствуют сульфидсодержащие угленосные породы, Na алюмосиликаты и нефелиновые сиениты, которые по [5] могут являться источниками солей. Рассматривая сопряженно состав разгружающихся слабоминерализованных вод различного состава, их конечные зоны стока, а также глубинные разгрузки сильноминерализованных вод в озера, выявлена идентичность химизма с формирующимися в зоне их влияния солончаками. Формирование нетипичных для автоморфных позиций сильнозасоленных почв на данном этапе исследований можно связать только с влиянием катастрофического землетрясения в центре этой котловины, в результате которого мог быть выброс сильноминерализованных вод. Подтверждением гипотезы является нахождение в этом месте глубокого оврага, в разной степени трансформированных песчаников с аномальной концентрацией в них P, As, W. Изучение этих почв требует более детальных исследований.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № государственной регистрации 121030100228-4.*

#### **Библиографический список**

1. Воробьева Л.А. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
2. Замана Л.В., Солотчин П.А., Скляр Е.В. Низкотемпературный гейзерит и эфемерные минералы Могойского термального источника (северное Забайкалье, Байкальская рифтовая зона) Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2023, Т. 51. №1. С.19-23.
3. Убугунов В.Л., Хитров Н.Б., Чижикова Н.П., Убугунова В.И., Варламов Е.Б., Жамбалова А.Д., Четко Е.С. Свойства и минералогический состав темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой криотурбированной мерзлотной почвы Баргузинской котловины (Бурятия). Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. № (92). С.62-94.
4. Убугунова В.И., Аюшина Т.А., Насагуева Ц.Н. Почвы степей Нижнеоронгойской котловины (Западное Забайкалье) //Изв. Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2024. Т.48. С.37–52.
5. Черноусенко Г.И. Засоленные почвы котловин юга Восточной Сибири. Москва: МАКС Пресс. 2022. 480 с.

**Физико-химическое моделирование поведения рения в условиях гипергенеза***Еремин О.В., Юргенсон Г.А.*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, город Чита, Россия, e-mail: yeroleg@yandex.ru

**Аннотация.** Для шахтаминских молибден рудоносных пород проведено термодинамическое моделирование систем «вода-порода-газ» в условиях гипергенеза, которое показало устойчивость сульфида рения в восстановительных условиях и перренат аниона в водных растворах или в составах твёрдых фаз при окислительных условиях среды.

**Ключевые слова:** рений, компьютерное моделирование.

**Physico-chemical modeling of rhenium behavior under conditions of hypergenesis***Eremin O.V., Yurgenson G.A.*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: yeroleg@yandex.ru

**Abstract.** Thermodynamic modeling of water-rock-gas systems under hypergenesis conditions was performed for Shakhtama molybdenum-bearing rocks, which showed the stability of rhenium sulfide under reducing conditions and anion perrhenate in aqueous solutions or in solid phase compositions under oxidizing environmental conditions.

**Keywords:** rhenium, computer modeling.

Рений - редкий химический элемент, его кларк для земной коры составляет  $7 \cdot 10^{-4}$  г/т ( $7 \cdot 10^{-8}$  ‰). Основные источники промышленного получения рения представляют молибденовые и медные сульфидные концентраты. Используется рений в производстве жаропрочных сплавов, катализаторов в нефтехимии, электронике, медицине. Собственные минералы рения встречаются в природе крайне редко. Как примесный элемент он присутствует в составах молибденитов, комплексных сульфидов, сульфосолей. Значительные количества рения находятся в продуктах горнорудной деятельности на месторождениях молибдена. Так, в отвалах рудоносных пород Жирекенского месторождения нами определены содержания рения 1.3-2.7 г/т, в хвостах обогащения фабрики Шахтаминского и Бугдаинского месторождений 0.1-0.4 г/т. Изучение форм нахождения рения в гипергенных условиях имеет важное значение в вопросах разработки технологий его извлечения.

Для исследования геохимического поведения рения были рассмотрены модели окисления рудоносных пород Шахтаминского месторождения с использованием ПК «Селектор». Модели представляли расчёты термодинамических равновесий в системах «вода-порода-газ» при температуре 25 °С и атмосферном давлении. Химический состав рудоносных пород задавался на основе работ [Козлов, 2011; Берзина и др., 2013] и собственных данных. Термодинамические свойства соединений рения взяты из [Yokokawa, 1988; Nikolaychuk, 2022].

Результаты расчётов показали, что в сильно восстановительных условиях рений входит в состав твёрдых фаз арсенида ( $\text{Re}_3\text{As}_7$ ), теллурида ( $\text{Re}_2\text{Te}_5$ ) и сульфида ( $\text{ReS}_2$ ). В условиях умеренных потенциалов в состав сульфида. При окислительных условиях рений присутствует в растворах в виде перренат-иона  $\text{ReO}_4^-$ , в случаях отсутствия воды в составе  $\text{AgReO}_4$ . Для большинства соединений рения отсутствуют экспериментально определённые термодинамические свойства, например, для перренатов щелочных и щелочноземельных металлов. Можно предположить образование  $\text{Ca}(\text{ReO}_4)_2$  как крайнего члена множества химических многообразий минерала повеллита ( $\text{CaMoO}_4$ ). Рений содержащий повеллит  $(\text{Ca}_{0.963}\text{Fe}_{0.033})_{\Sigma 0.996}[(\text{Mo}_{0.894}\text{Re}_{0.009})_{0.903}\text{S}_{0.1}]_{\Sigma 0.903}\text{O}_4$  диагностирован в образцах Гутайского месторождения [Юргенсон, Груздев, 2025]. Вхождение  $\text{ReO}_4^-$  совместно с  $\text{MoO}_4^{2-}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  в повеллит свидетельствует об активности рения в процессах вторичного минералообразования в окислительных условиях.

Сравнительное изучение геохимии Mo, W и Re в эвксинных поровых водах показало, что рений наиболее активно включается в процессы пиритизации, показывая максимальную степень извлечения из растворов – 80 %, для Mo – 73 %, W – 58 % [Akintomide et al., 2021]. Из этих данных можно предположить концентрирование рения и в зонах вторичного

сульфидного обогащения, например, в нижних частях хвостохранилищ отходов переработки молибденовых или полиметаллических руд. Повышение содержаний сульфидов с глубиной пробуренных скважин (до 10 м) отмечено на хвостохранилище фабрики Шахтаминского молибденового рудника [Манзырев и Лавров, 2016].

*Работа выполнена в рамках Госзадания № FUFР-2021-0005.*

#### **Библиографический список**

1. Берзина А.П., Берзина А.Н., Гимон В.О., Крымский Р.Ш., Ларионов А.Н., Николаева И.В., Серов П.А. Шахтаминская Мо-порфи́ровая рудно-магматическая система (Восточное Забайкалье): возраст, источники, генетические особенности // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 6. – С. 764-786.
2. Козлов В.Д. Особенности редкоэлементного состава и генезиса гранитоидов Шахтаминского и Кукульбейского редкометалльного комплексов Агинской зоны Забайкалья // Геология и Геофизика. – 2011. – Т. 52, № 5. – С. 676-789.
3. Манзырев Д.В., Лавров А.Ю. Вещественный состав и строение лежалых хвостов обогащения руд месторождения Шахтаминское // Вестник ЗабГУ. – 2016. – Т. 22, №1. – С.17-27.
4. Юргенсон Г.А., Груздев Р.В. О содержащем рений повеллите Гугайского (Чикойского) месторождения молибдена в Забайкалье // Записки Российского Минералогического Общества, 2025 (в печати)
5. Akintomide O. A., Adebayo S., Horn J. D., Kelly R. P., Johannesson K. H. Geochemistry of the redox-sensitive trace elements molybdenum, tungsten, and rhenium in the euxinic porewaters and bottom sediments of the Pettaquamscutt River estuary, Rhode Island // Chemical Geology. – 2021. – P. 120499.
6. Nikolaychuk P. A. The potential-pH diagram for rhenium // Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis. – 2022. – № 7. – P. 100068.
7. Yokokawa H. Tables of thermodynamic properties of inorganic compounds // Journal of the national chemical laboratory for industry. – 1988. – № 83. – P. 27-118.

УДК 661.523.4

## Использование гидрокарбоната аммония в исследовании продуктов современного минералообразования

*Еремин О.В., Юргенсон Г.А., Филенко Р.А.*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, город Чита, Россия, e-mail: yeroleg@yandex.ru

**Аннотация.** Проведённые эксперименты по взаимодействию гидрокарбоната аммония с растворами новообразованных солей шахтаминского хвостохранилища и карьерной воды Шерловогорского месторождения показали возможность разделения металлов на карбонатные и сульфатные фазы. В карбонатных фазах отмечено концентрирование меди, цинка, марганца и алюминия.

**Ключевые слова:** современное минералообразование, гидрокарбонат аммония.

## The use of ammonium bicarbonate in the study of products of modern mineral formation

*Eremin O.V, Yurgenson G.A., Filenko R.A.*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: yeroleg@yandex.ru

**Abstract.** Experiments conducted on the interaction of ammonium bicarbonate with solutions of newly formed salts of the Shakhtaminsky tailings reservoir and quarry water of the Sherlovogorskoye deposit have shown the possibility of separating metals into carbonate and sulfate phases. Concentrations of copper, zinc, manganese, and aluminum were noted in the carbonate phases.

**Keywords:** modern mineral formation, ammonium bicarbonate.

В настоящее время процессы современного минералообразования (СМО) в ландшафтах горнорудных территорий активно изучаются в решении экологических и экономических задач [Cala-Rivero et al., 2018; Basallote et al., 2019; Nieva et al., 2021; Gerding et al., 2024].

В ясный солнечный день 23 июня 2024 г. после нескольких дней устойчивой жаркой погоды нами отобраны две пробы новообразованных выцветов солей на поверхности грунта хвостохранилища Шахтаминской фабрики (рис. 1).



а



б

Рисунок 1. Отбор проб новообразованных минералов (а) и их тонкие солевые корочки на поверхности грунта отстойника (б) большого хвостохранилища (г. 11).

Пробы отличались по цвету – белый и голубой. Материал проб растворялся в дистиллированной воде при перемешивании в течении 30 минут и профильтровывался через бумажный фильтр (красная лента).

Полученные растворы в пластиковых ёмкостях были поставлены для естественного выпаривания и перекристаллизации при комнатных условиях. Методами порошковой дифрактометрии и термического анализа определены составы образовавшихся минеральных фаз (табл. 1).

Растворы новообразованных солей с минерализацией около 5 г/л, а также вода карьера месторождения Шерловая Гора проанализированы на содержание макро- и микрокомпонентов методом ICP-MS. Результаты представлены в (табл. 2).

Таблица 1. Минеральный состав перекристаллизованных продуктов СМО.

Белый СМО	Голубой СМО
Эпсомит, гексагидрит, госларит, гипс	Халькантит, гексагидрит, госларит, гипс, биберит

Таблица 2. Химический состав растворов (мкг/л) новообразованных минералов шахтаминского хвостохранилища и шерловогорской карьерной воды. Прочерк – элемент не определялся.

Элемент	Содержание в растворе голубого СМО, мкг/л	Содержание в растворе белого СМО, мкг/л	Содержание в растворе карьера Шерловогорского месторождения, мкг/л
Cu	389909	903	3600
Mg	222363	393895	220000
Zn	100826	75900	515600
Ca	34200	22800	420000
Mn	16900	21600	100000
Al	14500	<50	33500
Ni	3420	2550	3200
U	2210	4	5
Co	1350	1230	900
K	1200	<100	4600
Cd	960	870	3200
Fe	800	<50	10700
Y	384	49	600
Pb	230	180	360
Na	170	120	30900
Li	80	100	-
La	80.3	3.59	47
Ce	204	11.4	142
Pr	27.6	2.38	16
Nd	102	11.2	64
Sm	22.9	1.86	25
Eu	4.29	0.33	2
Gd	25.2	3.25	39
Tb	4.51	0.42	8
Dy	31.1	3.1	52
Ho	6.58	0.54	11
Er	22.3	1.77	31
Tm	3.87	0.09	4
Yb	31.6	0.94	27
Lu	5.03	0.05	4
ΣLn	571.28	40.92	472
ΣLn+Y	962.28	89.92	1072
P	<50	550	-
Sb	60	15	0.3
Sr	53	25	1900
Sc	21	0.7	11
Be	19	<5	180
Se	12	9	6
As	6	5	20
Rb	3.9	3.4	84
Re	1.4	0.5	-
Ag	0.29	0.08	11

В растворы солей при перемешивании добавляли раствор гидрокарбоната аммония ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ) с концентрацией 10 г/л. В результате смешивания во всех растворах сформировались нерастворимые осадки суспензий, которые впоследствии, через 30 мин, отделялись на фильтре и высушивались. Растворы фильтратов поставлены на перекристаллизацию в комнатных условиях. Полученные твёрдые фазы проанализированы методом порошковой дифрактометрии (табл. 3), методом РФА проведен химический анализ их макрокомпонентного состава. На основе полученных данных рассмотрено перераспределение химических элементов из исходных растворов в фазы осадков и перекристаллизованных солей (табл. 4-6). В целом, исходные растворы и перекристаллизованные после взаимодействия с гидрокарбонатом аммония фазы представлены в основном сульфатами. Фазы осадков в основном карбонатные.

Таблица 3. Фазы осадков после взаимодействия с гидрокарбонатом аммония.

Образец	Сульфатная ассоциация	Карбонатная ассоциация
Голубой СМО	Буссенготит, гипс	Рентгеноаморфная
Белый СМО	Гексагидрит	Родохрозит, доломит
Вода карьерного озера	Гипс, буссенготит	Рентгеноаморфная

Таблица 4. Перераспределение химических элементов раствора голубого СМО после взаимодействия с гидрокарбонатом аммония. Прочерк – элемент не определялся.

Элемент	Концентрация в растворе, мг/л	Растворимая часть (сульфатная), % по оксидам	Нерастворимая часть (карбонатная), % по оксидам
Cu	389,91	4,01	68,57
Mg	222,36	17,7	0,92
Zn	100,83	0,54	14,4
Ca	34,20	1,01	3,97
Mn	16,90	0,3	0,86
Al	14,50	0,05	7,81
Ni	3,42	0,11	0,25
U	2,21	0,01	-
Co	1,35	0,03	0,04
K	1,20	0,03	-
Fe	0,80	0,02	0,13

Таблица 5. Перераспределение химических элементов раствора белого СМО после взаимодействия с гидрокарбонатом аммония. Прочерк – элемент не определялся.

Элемент	Концентрация в растворе, мг/л	Растворимая часть (сульфатная), % по оксидам	Нерастворимая часть (карбонатная), % по оксидам
Mg	393,89	31,50	12,88
Zn	75,90	0,45	36,17
Ca	22,80	0,48	11,13
Mn	21,60	0,13	12,57
Ni	2,55	0,09	0,64
Co	1,23	0,02	0,58
Cu	0,90	0,03	0,2
Al	<0,05	0,06	-
K	<0,10	0,04	0,09
Fe	<0,05	0,01	0,05

Результаты дифрактометрии показали, в состав перекристаллизованных после взаимодействия с  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  фаз шерловогорского и голубого растворов входят буссенготит ( $\text{Mg}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и гипс. Для белого раствора определён гексагидрит. Только для белого СМО в карбонатном осадке диагностированы родохрозит и доломит.

Таблица 6. Перераспределение химических элементов воды шерловогорского карьера после взаимодействия с гидрокарбонатом аммония. Прочерк – элемент не определялся.

Элемент	Концентрация, мг/л	Растворимая часть (сульфатная), % по оксидам	Нерастворимая часть (карбонатная), % по оксидам
Zn	515.6	4,61	45,65
Ca	420.0	10,67	23,38
Mg	220.0	9,33	0,93
Mn	100.0	2,21	4,09
Al	33.5	-	12.74
Fe	10.7	0.02	8.26
K	4.6	0.22	-
Cu	3.6	0,04	0,2
Ni	3.2	0,12	0,10
Sr	1.9	0.01	-

В случае голубого СМО можно видеть значительный переход меди и цинка в карбонатные фазы, для белого СМО - цинка и марганца, для шерловогорской воды – цинка, железа и марганца. Так же значительные количества алюминия из растворов трансформируются в карбонатные осадки.

Катион аммония принимает активное участие в образовании буссенготита для шерловогорской воды и голубого СМО. Вероятно, в этих случаях были использованы избыточные количества раствора гидрокарбоната. Примечательно, что растворы  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  при испарении в комнатных условиях не образуют твёрдофазного осадка, разлагаясь на углекислый газ, воду и аммоний:  $\text{NH}_4\text{HCO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Таким образом, с помощью этого реагента можно провести разделение растворённых металлов на две части: карбонатную и сульфатную без привнесения дополнительных катионов металлов, например, натрия в случае использования  $\text{NaHCO}_3$ . Примеры с образованием буссенготита (таб. 4, 6) показывают возможность отделения магния из сульфатных растворов, что имеет важное значение в металлургических процессах. Относительно равномерно перераспределяются между сульфатной и карбонатной фазами никель и кобальт. Вероятно, они тоже образуют так называемые соли Туттона  $\text{Me}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  к которым относится и буссенготит, минерал группы пикромерита.

Гидрокарбонат аммония дешёвый реактив и широко применяется в химической и пищевой промышленности, фармакологии и других сферах современной жизни. В частности он используется для отделения лантаноидов из сульфатных магниевых рассолов (Wang et al., 2025). К сожалению, количество использованного материала СМО не позволило провести химический анализ микрокомпонентных составов осадков. В этом направлении работы будут продолжены. Из (табл. 2) можно видеть, что значительный интерес представляют сведения о поведении редкоземельных элементов, урана, рения.

*Работа выполнена в рамках Госзадания № FUFР-2021-0005.*

#### **Библиографический список**

1. Basallote, M.D., Cranovas, C.R., Olías, M., Prerez-Lopez, R., Macías, F., Carrero, S., Ayora, C., Nieto, J.M., 2019. Mineralogically-induced metal partitioning during the evaporative precipitation of efflorescent sulfate salts from acid mine drainage//Chem. Geol. 530, 119339 <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119339>.
2. Cala-Rivero, V., Arranz-Gonzalez, J., Rodríguez-Gomez, V., Fernandez-Naranjo, F., Vadillo-Fernandez, L., 2018. A preliminary study of the formation of efflorescent sulfate salts in abandoned mining areas with a view to their harvesting and subsequent recovery of copper// Miner. Eng. 129, 37–40.

3. Gerding J., Morales J., Novoselov A.A., Sanchez S.B. Fractional precipitation of copiapite-halotrichite efflorescent salts on Au–Cu mine tailings under semi-arid climates in northern Chile//Journal of Geochemical Exploration 264 (2024) 107536

4. Nieva, N.E., Garcia, M.G., Borgnino, L., Borda, L.G., 2021. The role of efflorescent salts associated with sulfide-rich mine wastes in the short-term cycling of arsenic: Insights from XRD, XAS, and  $\mu$ -XRF studies// J. Hazard. Mater. 404, 124158 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124158>.

5. Wang Q., Qi T., Yu H., Zhang L., Sun D., Liu Y., Liang T., Huang L. Precipitating Rare Earth by  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$  from a Concentrated Rare Earth and Magnesium Sulfate Solution. Minerals 2025, 15, 525.[doi.org/10.3390/min15050525](https://doi.org/10.3390/min15050525)

**Минералообразование Могойского термального источника Байкальской рифтовой зоны – термодинамические предпосылки и реальные минеральные ассоциации**

*Zamana L.V.<sup>1</sup>, Usmanova L.I.<sup>1</sup>, Solotchin P.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, e-mail: l.v.zamana@mail.ru, larisaum@mail.ru

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия, paul@igm.nsk.ru

**Аннотация.** Приведены данные по современным минеральным осадкам наиболее высокотемпературного в БРЗ Могойского источника азотных терм и термодинамических расчётов минеральных равновесий его воды. Показано существенное отличие результатов расчетов от выявленных минеральных ассоциаций, что обусловлено как образованием ряда минералов на испарительном барьере, так и возможной незначительной примесью равновесных по расчёту минералов.

**Ключевые слова:** термальный источник, современное минералообразование, испарительное концентрирование.

**Mineral formation of the Mogoi thermal spring of the Baikal Rift zone – thermodynamic prerequisites and actual mineral associations**

*Zamana L.V.<sup>1</sup>, Usmanova L.I.<sup>1</sup>, Solotchin P.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: l.v.zamana@mail.ru, larisaum@mail.ru

<sup>2</sup>V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia, paul@igm.nsk.ru

**Abstract.** Data on modern mineral sediments of the Mogoi nitrogen thermal spring, the most high-temperature in the BRZ, and thermodynamic calculations of the mineral equilibria of its water are presented. A significant difference between the calculation results and the identified mineral associations is shown, which is due to both the formation of a number of minerals on the evaporation barrier and a possible minor admixture of calculated equilibrium minerals.

**Keywords:** thermal spring, modern mineral formation, evaporative concentration.

Могойский термальный источник – наиболее высокотемпературное проявление азотных терм в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ). Он находится в бассейне р. Ципа, левобережного притока р. Витим, и представлен группой точечных и линейных выходов, сток которых поступает в два ручья, ограничивающих с юга и севера термальное поле протяженностью до 200 м при ширине до 100–120 м. Географические координаты примерного центра этого поля 55°28.439' с.ш., 113°26.341' в.д. Локализован источник в границах распространения позднепалеозойских гранитоидов баргузинского комплекса. Максимальная температура воды в одном из выходов по замерам 16.03.2012 г. была 84,2°C.

В отобранных на эту дату осадках был обнаружен когаркоит  $\text{Na}_3\text{SO}_4\text{F}$  – вторая находка в России впервые обнаруженного Л.Н. Когарко минерала в пегматите из нефелиновых сиенитов Ловозерского массива Кольского п-ова, в честь которой позже он получил своё название. В ассоциации с ним были трона  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , тенардит  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , в подчинённом количестве галит  $\text{NaCl}$  [4]. Образования этих солей не были непосредственно связаны с выходами терм, а отложились в виде «выпотов» на камнях и песчано-гравийных отложениях.

Более широкий спектр минералов найден в осадках, отобранных в марте 2021 г. Как и раньше, они определялись рентгеноструктурным методом в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) и частично представлены в [2]. Кроме перечисленных выше в их составе установлены опал  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , слагающий гейзерит на наиболее высокотемпературных (>70°C) выходах, кварц  $\text{SiO}_2$ , термонатрит  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , виллиомит  $\text{NaF}$ , плагиоклаз, калиевый полевой шпат (рис. 1 и 2), в других образцах обнаружены примеси флюорита  $\text{CaF}_2$ , нефелина  $\text{Na}_3\text{K}(\text{Si}_{10.56}\text{Al}_{1.44})_8 \cdot \text{O}_{16}$ , барита  $\text{BaSO}_4$ , слюды, хлорита. В составе аморфной фазы предположительно указано наличие органического вещества, что вполне возможно, исходя из повышенного содержания в водных пробах органического углерода.

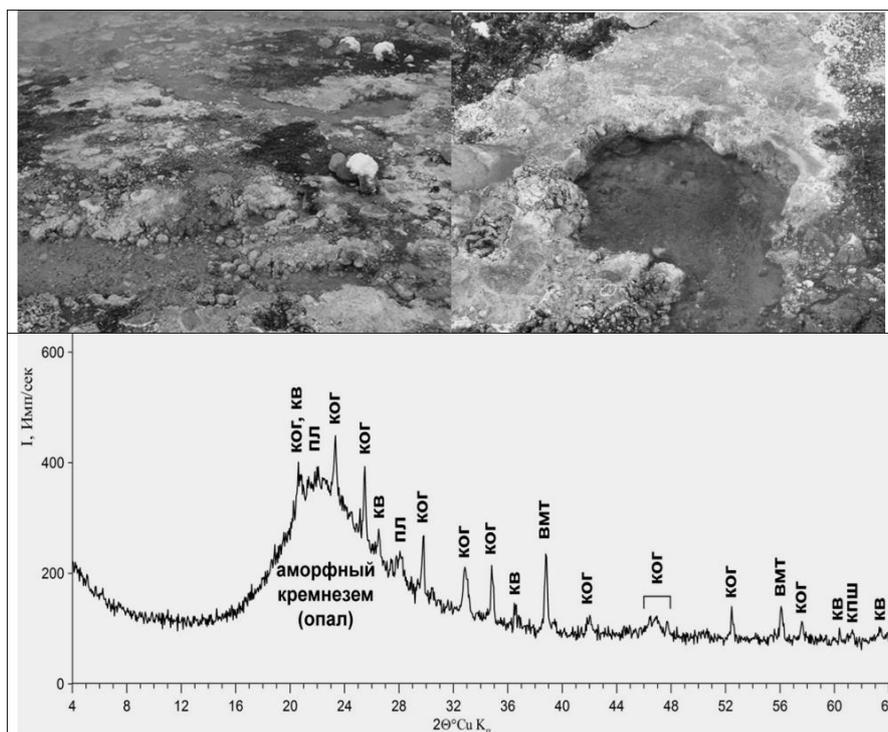


Рисунок 1. Отложения гейзерита (аморфного кремнезёма) и рентенограмма образца Мг-21-2м.  
Сокращения: ког – когаркоит, кв – кварц, пл – плагиоклаз, вmt – виллиомит, кпш – калиевый полевой шпат [2]

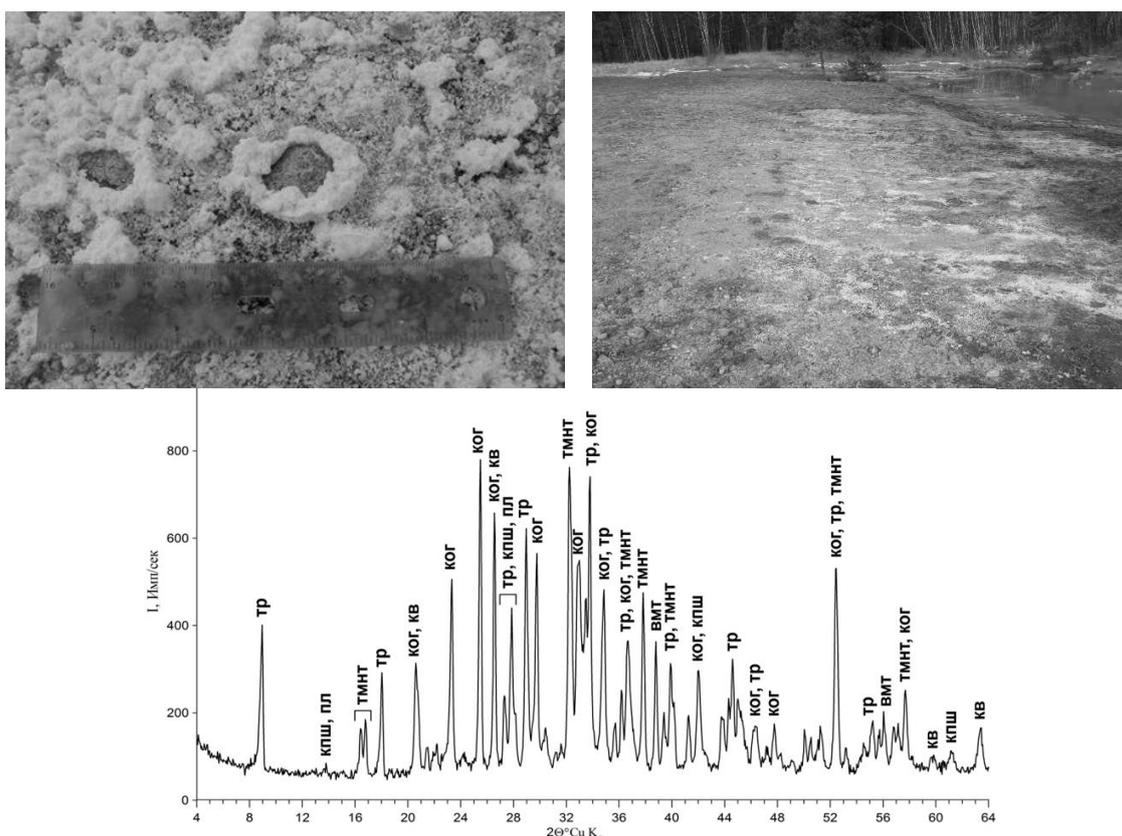


Рисунок 2. Солевые отложения на камнях и поверхности почвы и рентенограмма образца Мг-21-5м.  
Сокращения: тр – трона, тмнт – термонаитрит, остальные как на рис. 1 (рентенограмма по [2]).

Оценка термодинамических равновесий выполнена по пробам воды наиболее высокотемпературных выходов, также отобранных 18-19.03.2021 г. Макрокомпонентный состав представленных в табл. 1 проб определялся по нормативным методикам в ИПРЭЖ СО РАН в аттестованной на выполнение анализов природных вод лаборатории, анализ на

микроэлементы (Li–U) выполнен методом ICP-MS в Институте геохимии СО РАН (г. Иркутск). Вода источника имеет сульфатно-фторидно-гидрокарбонатный натриевый состав. Кроме общего для азотных терм доминирования в составе катионов натрия и высокого содержания кремния в нём установлено максимальное для азотных терм БРЗ содержание фтора и аномальный уровень таких микроэлементов, как редкие щёлочи (Li, R, Cs), В, Ga, Ge, W, которые для данного типа терм являются типоморфными. Содержание Сорг. получено пересчётом перманганатной окисляемости (ПО) по обычно принятому коэффициенту 0,75.

Таблица 1. Физико-химические показатели терм Могойского источника, включённые в расчёт минеральных равновесий (Сорг.–Р общ. – мг/л, Li–U – мкг/л)

Показатель	Пробы			Показатель	Пробы		
	Мг-21-1	Мг-21-2	Мг-21-3		Мг-21-1	Мг-21-2	Мг-21-3
T, °C	78,9	70,6	83,4	Ga	9,96	9,71	9,32
pH	9,1	9,1	9,1	Ge	17,53	16,73	16,24
Eh, мВ	-192	-124	-176	As	0,31	0,18	0,16
ПО, мгО/л	17,6	13,3	16,5	Br	26,4	21,9	25,9
Сорг.	13,20	9,96	12,36	Rb	44,1	44,0	42,1
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	25,1	26,6	24,5	Sr	224,3	230,4	230,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	166,7	156,5	165,2	Zr	0,060	0,039	0,301
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	79,84	63,08	58,66	Mo	1,38	1,34	1,29
Cl <sup>-</sup>	13,05	13,19	12,91	Cs	14,59	12,41	12,19
F <sup>-</sup>	27,6	27,4	27,8	Ba	4,28	5,81	5,45
Ca <sup>2+</sup>	6,49	6,33	6,69	La	1,128	0,338	0,439
Mg <sup>2+</sup>	0,04	0,02	0,02	Ce	0,012	0,015	0,028
Na <sup>+</sup>	150,2	140,0	135,8	Pr	0,0032	0,0027	0,0091
K <sup>+</sup>	2,42	1,79	1,92	Nd	0,0038	0,0073	0,0139
Σ ионов	471,5	434,9	436,4	Sm	0,0008	0,0006	0,0020
Si	57,51	56,49	54,7	Eu	0,0049	0,0038	0,0038
Р общ.	0,038	0,03	0,041	Gd	0,0018	0,0046	0,0050
Li	243,1	247,4	243,2	Tb	0,0001	0,0001	0,0003
Be	0,29	0,32	0,33	Dy	0,0006	0,0007	0,0021
B	126,4	131,5	119,7	Ho	0,0001	0,0002	0,0005
Al	69,8	66,1	209,2	Er	0,0005	0,0005	0,0012
Ti	0,33	0,44	3,12	Tm	0,0001	0,0001	0,0002
V	0,047	0,025	0,038	Yb	0,0007	0,0005	0,0008
Cr	0,088	0,037	0,644	Lu	0,0001	0,0003	0,0002
Mn	1,26	1,14	1,73	W	24,4	22,6	22,6
Fe	16,0	7,98	20,3	Tl	0,055	0,055	0,060
Co	0,009	0,007	0,023	Pb	0,632	0,268	0,294
Ni	0,195	0,103	0,301	Th	0,0096	0,0091	0,0095
Zn	4,02	1,04	2,03	U	0,0171	0,0052	0,0037

Для расчёта насыщения по минеральным фазам использована программа MINTEQA [5]. Индекс насыщения SI (Saturation Index) определяется по ней (табл. 2) как разница между log IAP (произведение активности ионов) и log Ks (константа растворимости минерала при данной температуре), в представленном сообщении это lg ПА/ПР, где ПА и ПР – произведения активностей и растворимости. Константы растворимости заложены в программе с учётом их

температурной зависимости. Подбор минералов и химических соединений, по которым производился расчёт, программа производит самостоятельно.

Таблица 2. Индексы насыщения по равновесным ( $SI > 0$ ) вторичным минералам и солям

Минерал, соль	Формула	Индекс насыщения (SI) по пробам		
		Мг-21-1	Мг-21-2	Мг-21-3
Арагонит	$\text{CaCO}_3$	0,071	0,154	0,054
Кальцит	–“–	0,215	0,298	0,198
Кварц	$\text{SiO}_2$	0,314	0,445	0,221
Халцедон	–“–	–	0,057	–
Рутил	$\text{TiO}_2$	–	–	0,434
$\text{FCO}_3$ -апатит	$\text{Ca}_{9,32}\text{Na}_{0,36}\text{Mg}_{0,14}(\text{PO}_4)_{4,8}\text{F}_{2,48}(\text{CO}_3)_{1,2}$	10,721	11,186	10,834
ОН-апатит	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$	3,619	3,481	3,933
Флюорит	$\text{CaF}_2$	0,101	0,195	0,123
Сепиолит	$\text{Mg}_4(\text{Si}_6\text{O}_{15})(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,695	0,986	1,152
Хризотил	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	2,364	1,086	1,724
Цинкит	$\text{ZnO}$	0,318	–	–
Соль	$\text{LaPO}_4(\text{s})$	5,042	4,306	4,783
–“–	$\text{CePO}_4(\text{s})$	3,169	3,06	3,674
–“–	$\text{NdPO}_4(\text{s})$	2,227	2,282	2,951
–“–	$\text{PrPO}_4(\text{s})$	2,444	2,143	3,057
–“–	$\text{GdPO}_4(\text{s})$	0,967	1,149	1,566
–“–	$\text{SmPO}_4(\text{s})$	1,194	0,834	1,759

Хотя для азотных терм характерно высокое содержание кремния, насыщение по аморфному кремнезёму в них, как показано в [1, рис. 3], не достигается. Это подтверждают и расчёты термодинамических равновесий по пробам источника – индексы насыщения, хотя и близки к равновесным, отрицательны, изменяясь по пробам в диапазоне  $-0,691 \dots -0,829$ . Несколько выше SI по кристобалиту –  $-0,15 \dots -0,361$ , но он образуется при температурах выше  $1000^\circ\text{C}$ . Насыщение по  $\text{SiO}_2$  достигается только по кварцу (табл. 2), который, как отмечено выше, обнаружен в составе минеральных новообразований. Однако основной минеральной формой отложений кремнезёма на источнике является опал, развитый в виде кремнистого туфа гейзерита (см. рис. 1). SI по аморфному кремнезёму составляли  $-0,647 \dots -0,829$ . Выпадение его обусловлено главным образом снижением температуры воды на выходе, вследствие чего растворимость  $\text{SiO}_2$  падает, но, возможно, в какой-то степени и из-за испарения воды.

Насыщение по карбонатам кальция, описанным как травертины по ряду термальных источников БРЗ, на Могойском не обнаружены, хотя его термы по арагониту и кальциту насыщены (табл. 2). Близки к насыщению термы источника и по третьему карбонату кальция ватериту – SI равно  $-0,269 \dots -0,369$ . Фактически отложения карбонатов вместо кальциевых представлены натриевыми – тронной и термонатритом, известными как природные эвапоритовые формы карбонатов. На формирование их вследствие концентрирования компонентов на испарительном барьере указывает низкое значение lgПА по термонатриту, не превышающее по пробам  $-8,647$  при lgПР, исходя из значения SI  $-9,003$ , равном  $0,356$ . Трона в расчётах не представлена, очевидно, из-за её высокой растворимости – по [3] она составляет  $485 \text{ г/л}$  при  $40^\circ\text{C}$ , тогда как минерализация источника по сумме ионов не достигает и  $0,5 \text{ г/л}$ .

По сульфатным минералам произведения активностей ниже равновесных. По бариту lgПА не превышает  $-11,096$ , а по тенардиту  $-7,742$ , SI соответственно не более  $-1,65$  и  $-7,819$ . Растворимость сульфата натрия при  $20^\circ\text{C}$  равна  $281 \text{ г/л}$  [3] и увеличивается с ростом температуры воды.

Очень высокое пересыщение терм источника по фторкарбонатапатиту, существенно ниже оно по гидроксилapatиту, что определяется очень низкими величинами констант растворимости этих минералов – около  $10^{-110,0}$ – $10^{-110,6}$  и  $10^{-44,3}$  соответственно

(гидроксилapatит принят программой как 5-кальциевый, тогда как по современным представлениям он 10-кальциевый). Надо заметить при этом, что в расчётах программой не представлен фторapatит, растворимость которого меньше, чем ОН-apatита. Отсутствуют в расчётах и сильно растворимые когаркоит и виллиомит, из фторидов термы источника равновесны только с флюоритом, который в отличие от апатитов в осадках представлен.

Программа показала также насыщение по двум минералам магнезия, несмотря на его очень низкое содержание, что компенсируется обогащённостью терм кремнекислотой.

По микроэлементам насыщены по всем пробам 6 лантаноидов по фосфату и по одному случаю Ti и Zn по оксидам. По рутилу (проба Мг-21-3) и цинкиту (Мг-21-1) термодинамическое равновесие получено за счёт более высоких концентраций соответствующих металлов в этих пробах. В осадках как фосфаты РЗЭ, так и отмеченные оксиды рентгеноструктурным методом не обнаружены, возможно, из-за незначительного их содержания.

Таким образом, термодинамические расчёты минеральных равновесий терм Могойского источника существенно расходятся с установленными в осадках минералами, особенно по карбонатам и сульфату натрия, когаркоиту и виллиомиту, что подтверждает формирование их на испарительном барьере. При близких к насыщению SI основным является термодинамический барьер, роль испарения второстепенна.

#### **Библиографический список**

1. Замана Л.В. Фтор в азотных термах Забайкалья // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 11. С. 1575–1581.
2. Замана Л.В., Солотчин А.П., Скляров Е.В. Низкотемпературный гейзерит и эфемерные минералы Могойского термального источника (Северное Забайкалье, Байкальская рифтовая зона) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 511. № 1. С. 19–23. DOI: 10.31857/S2686739723600431.
3. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии: Справ. изд. – 6-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1989. 448 с.
4. Солотчин П.А., Скляров Е.В., Солотчина Э.П., Замана Л.В., Склярова О.А. Новая находка когаркоита  $\text{Na}_3\text{SO}_4\text{F}$  в Забайкалье // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 6. С. 701–705. DOI: 10.7868/S086956521518022X.
5. Felmy A.R., Girvin D.C., Jenne E.A. MINTEQ – A computer program for calculating aqueous geochemical equilibria. Athens GA: U.S. Environmental Protection Agency, 1984. 98 p.

**Состав минеральной ассоциации, образованной в процессе жизненной активности вида *Desulfosporosinus metallidurans***

*Иккерт О.И.<sup>1</sup>, Бухарова О.В.<sup>1</sup>, Князев Ю.В.<sup>1,2</sup>, Байуков О.А.<sup>2</sup>, Платунов М.С.<sup>3</sup>, Волочаев М.Н.<sup>2</sup>, Молокеев М.С.<sup>2</sup>, Смородина Е.Д.<sup>5</sup>, Карначук О.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия, bukharovagetina@gmail.com

<sup>2</sup>Институт физики имени Киренского Федерального исследовательского центра КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия, yuvknyazev@mail.ru

<sup>3</sup>Центр коллективного пользования СКИФ, Институт катализа им. Борескова СО РАН, Кольцово, Россия, ms-platunov@yandex.ru

<sup>4</sup>Институт ядерной физики им. Будкера, Новосибирск, Россия, zmorobina@gmail.com

<sup>5</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, zmorobina@gmail.com

**Аннотация.** Штамм бактериальной культуры *Desulfosporosinus metallidurans* OL был выделен из микробного мата хвостохранилища золоторудного полигона в пос. Комсомольске Кемеровской области. В настоящей работе мы сообщаем, что данный штамм способен продуцировать полиминеральную ассоциацию, состоящую из вивианита ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), сидерита ( $\text{FeCO}_3$ ), ферригидрита ( $\text{Fe}^{3+}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$ ). Исследуемый штамм *Desulfosporosinus* не только действует как восстановитель сульфатов, используя соли серной кислоты в качестве акцептора электронов для производства энергии, а также может извлекать из системы железо и фосфор.

**Ключевые слова:** биоминерализация, бактериальная культура *Desulfosporosinus metallidurans* OL, вивианит, сидерит, ферригидрит.

**Composition of the mineral association formed during the vital activity of the species *Desulfosporosinus metallidurans***

*Ikkert O.P.<sup>1</sup>, Bukharova O.V.<sup>1</sup>, Knyazev Y.V.<sup>1,2</sup>, Bayukov O.A.<sup>2</sup>, Platunov M.S.<sup>3</sup>, Volochaev M.N.<sup>2</sup>, Molokeev M.S.<sup>2</sup>, Smorodina E.D.<sup>4</sup>, Karnachuk O.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia, bukharovagetina@gmail.com

<sup>2</sup>Kirensky Institute of Physics, Federal Research Center KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia, yuvknyazev@mail.ru

<sup>3</sup>Synchrotron radiation facility SKIF, Boreskov Institute of Catalysis SB RAS, Kol'tsovo, Russia, ms-platunov@yandex.ru

<sup>4</sup>Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia, zmorobina@gmail.com

<sup>5</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The bacterial culture strain *Desulfosporosinus metallidurans* OL was isolated from the microbial mat of the tailings of the gold mining landfill in the village of Komsomolsk, Kemerovo Region. Additionally, iron wire was introduced into the system. In this work, we report that this strain is capable of producing a polymineral association consisting of vivianite ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), siderite ( $\text{FeCO}_3$ ), ferrihydrite ( $\text{Fe}^{3+}_{10}\text{O}_{14}(\text{OH})_2$ ). The studied *Desulfosporosinus* strain not only acts as a sulfate reducer, using sulfuric acid salts as an electron acceptor to produce energy, but can also extract iron and phosphorus from the system.

**Keywords:** biomineralization, bacterial culture of *Desulfosporosinus metallidurans* OL, vivianite, siderite, ferrihydrite

Широко признана роль сульфатредуцирующих бактерий (СРБ) в очистке сточных вод в биореакторах, искусственных водно-болотных угодьях, очистке шахтных кислых дренажей (ШКД), образующихся при разработке месторождений колчеданных полиметалльных руд, угля. Эксперименты с сульфатредуцирующими бактериальными культурами показали, что биоминерализация приводит чаще всего к появлению макинавита ( $\text{FeS}$ ) и грейгита ( $\text{Fe}^{3+}_2\text{Fe}^{2+}\text{S}_4$ ), реже пирита. Однако, сульфиды являются не единственными продуктами и в минеральных ассоциациях могут встречаться карбонаты, фосфаты, оксиды.

В настоящей работе мы сообщаем о результатах эксперимента с представителями сульфатредуцирующего рода *Desulfosporosinus* [2], штаммы которого является особенно интересным для исследований в области биоремедиации и металлургии, поскольку они обладает уникальными адаптациями (способен выдерживать высокие концентрации металлов), что позволяют им выживать и функционировать в экстремальных условиях. Пробы осадков и микробных матов были отобраны с хвостохранилища Комсомольского золотоизвлекательного завода (пос. Комсомольск, Кемеровская область) методом черпания с

глубины не более 20 см. Хвостохранилище располагается в естественной котловине площадью около 146 тыс. м<sup>2</sup>. Котловина заполнялась в течении почти 35 лет общим стоком с завода, где руда перерабатывались методом цианирования золото-арсенопирит-кварцевого концентрата.

Культивирование чистой культуры *Desulfosporosinus* проводили на стандартной среде Видделя в сыровоточных бутылках емкостью 120 мл в анаэробных условиях. Состав среды приведён в таблице 1. В среду были добавлены необходимые для жизнедеятельности бактерий витамины, микроэлементы, растворимые соли молочной, серной, соляной и фосфорной кислот, которые находились в растворенном состоянии и не выпадали в осадок. Во флаконы со средой в качестве дополнительного источника железа добавляли железную проволоку. Среда культивирования штамма имела слабые кислотные свойства (рН 5,5). Температура культивирования составляла 28 С.

Таблица 1. Состав среды, в которой культивировали штамм бактериальной культуры *Desulfosporosinus metallidurans* OL

Состав синтетической среды	витамины	Микроэлементы	Кофакторы
Натрий-фосфатный буфер $\text{KH}_2\text{PO}_4$	B7	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	NaOH
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	PP	$\text{H}_3\text{BO}_3$	$\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
$\text{NH}_4\text{Cl}$	B5	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{NaSeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
NaCl	B6	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	
KCl	B12	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
$\text{CaCl}_2$		$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			

Культивирование чистой культуры *Desulfovibrio* sp. OL проводили в течение 7 и 14 суток. Контрольный образец получали на той же среде без добавления микроорганизмов. В процессе жизнедеятельности бактерий наблюдали корродирование проволоки и появление осадка в виде нерастворимых неорганических фаз, которые концентрировали центрифугированием при 10 000 g в течение 20 минут, а затем сушили в течение 24 часов при 50°C. Полученный порошок растирали в ступке для получения однородной массы.

Для обнаружения и определения неорганических фаз был выполнен комплекс аналитических исследований: рентгенофазовый анализ (рентгеновский дифрактометр Bruker D8 ADVANCE (Германия)), метод просвечивающей электронной микроскопии и нанодифракции электронов (микроскоп Hitachi HT7700 (Япония)) на базе оборудования Красноярского центра коллективного пользования Красноярского научного центра Сибирского отделения РАН и метод мессбауэровской спектроскопии (спектрометр MS-1104Em (НИИ физики ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия).

Результаты. Порошки сухого осадка, соответствующие контрольному образцу и полученный при культивировании бактериальной культуры на 7 сутки, представляли ультрадисперсную пудру, сложенную хлопьевидными частицами (рис. 1). Результаты электронной дифрактограммы показали, что вещество нераскристаллизовано (дифракционные кольца) (рис. 1). Мессбауэровский спектр эталонного образца показали лишь наличие железосодержащих компонентов.

Сухой остаток жизнедеятельности культивированной чистой культуры *Desulfovibrio* sp. OL на 14 сутки по данным исследований представлял полиминеральный агрегат – кристаллические фазы (рис. 2). Результаты просвечивающей электронной микроскопии позволили визуализировать и описать формы выделения минеральных фаз. Так, исследуемый агрегат состоит из хлопьевидных индивидов - квазисферические наночастицы ~ 0,01 мкм, в матрице которого заметны индивиды призматического габитуса размером 0,2 – 0,5 мкм (есть до 3 мкм), а также индивиды игольчатого облика.

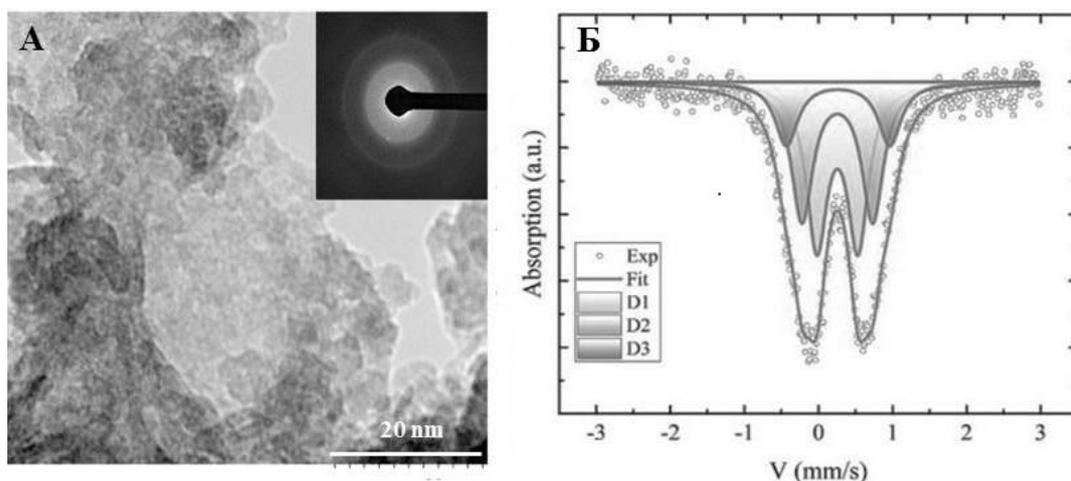


Рисунок 1. Результаты исследования сухого остатка в среде культивирования культуры *Desulfovibrio* sp. OL. (на седьмые сутки)

Примечание. А. Микродифрактограмма и изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе; Б. Мессбауэровский спектр образца при температуре 300 К.

Для определения минеральных видов был выполнен рентгенофазовый анализ. Полученные рентгенограммы имели высокий фон (соотношение сигнал/шум) и низкую интенсивность рефлексов, что может являться следствием наноразмерности фаз осадка или слабой кристалличности. Применив метод Ритвельда, удалось выявить две кристаллические фазы - вивианит и сидерит (рис. 2), присутствующих в порошке в соотношении 3:2.

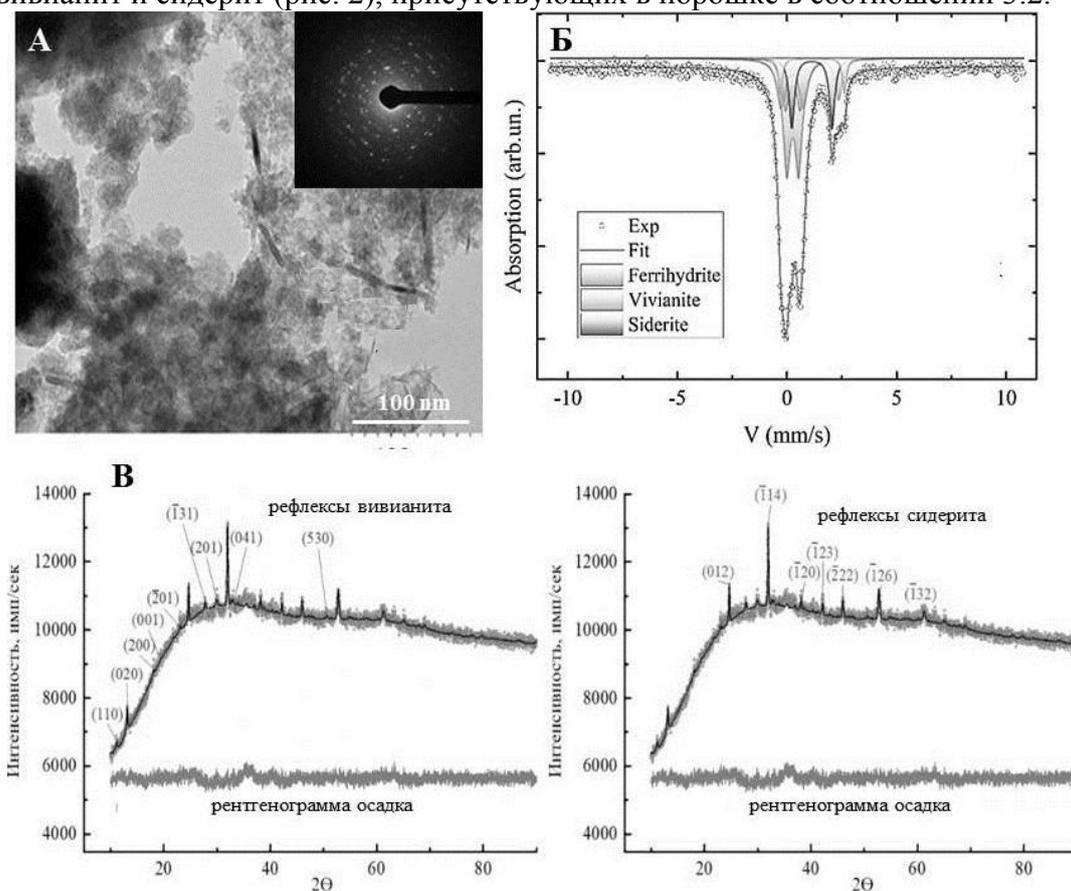


Рисунок 2. Результаты исследования сухого остатка в среде культивирования культуры *Desulfovibrio* sp. OL. (на четырнадцатые сутки)

Примечание. А. Микродифрактограмма и изображение, полученное на просвечивающем электронном микроскопе; Б. Мессбауэровский спектр образца при температуре 300 К. В. Рентгенограмма осадка и кривые, построенные по методу Ритвельда.

Результаты метода ядерного гамма-резонанса позволили подтвердить полученные данные через зарядовые состояния железа в минеральных фазах. Математическая обработка мёссбауэровских спектров показала, что железо в образце присутствует как закисной, так и в окисной формах. Двухвалентное железо входит в состав сидерита и вивианита (рис. 2). Полученные мёссбауэровские параметры для  $\text{Fe}^{2+}$  в сидерите соответствуют ранее опубликованным результатам [5]. В спектре вивианита присутствуют два квадрупольных дуплета. Один соответствует железу с зарядовым состоянием  $\text{Fe}^{2+}$ , второй может быть связан с магнием, который изоморфно замещает железо, приводя к локальному беспорядку в структуре минерала, что фиксируется в спектроскопических данных. Размеры площадей спектров мёссбауэровских фаз (сидерита и вивианита) характеризуют их соотношение в пробе 2:3 (как и по данным рентгенофазового анализа). Большая часть площади спектров относится к железу с химическим сдвигом  $\delta \sim 0.35$  мм/с, который соответствует зарядовому состоянию  $\text{Fe}^{3+}$ . При 300 К мы наблюдаем три таких состояния, различающихся квадрупольным расщеплением  $\Delta$  и степенью заселенности. Параметры этих квадрупольных дублетов соответствуют оксигидроксиду железа (ферригидриту) – наноминералу со слабой степенью кристалличности [6].

Обсуждение результатов. Полученная нами в ходе эксперимента ассоциация минералов (вивианит и сидерит) хорошо известна, и характеризует процесс биоминерализации при формировании осадочных отложений. Ферригидрит плохо сохраняется в литифицированных осадках, переходя в гидрогетит, затем гетит, и наконец, гематит. Однако, сам ферригидрит очень стремительно образуется в результате быстрого окисления и гидролиза железа. Этот процесс может протекать и при участии бактерий [5]. Так, в сидеритовом матриксе, образованном за счет биовосстановления трехвалентного железа микроорганизмами, локально фиксировали вивианит, который образовывал псевдоморфозы по гетиту и гематиту [3] либо в ассоциации с сидеритом обнаруживали незначительное содержание некоторой фазы  $\text{Fe}^{3+}$ , которую авторы не идентифицировали. Известны работы, в которых описано культивирование вида *S. putrefaciens* CN32, где эта бактерия способствовала биовосстановлению ферригидрита в фосфатсодержащей среде до фазы вивианита [7]. Вероятно, неслучайно при исследовании вивианита (в том числе биогенного происхождения) с помощью мёссбауэровской спектроскопии фиксировали небольшую примесь железа с зарядовым состоянием (III). Возможно, наноразмерный ферригидрит можно рассматривать как источник питания бактерий, ведь кроме сульфатного дыхания бактерии способны реализовывать и другие пути диссимиляции питательных субстратов. Диссимиляционное восстановление железа (железистое дыхание) может провоцировать образование вивианита за счет мобилизации  $\text{Fe(II)}$  из  $\text{Fe(III)}$  [4], при условии, что среда будет малосульфатной [1]. В нашем эксперименте, можно с уверенностью сказать, что соединения  $\text{Fe}^{2+}$  (вивианит) образуются за счет жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий *Desulfosporosinus metallidurans* OL в абиотических условиях, и полностью за счет ферригидрита.

Вывод. Образование кристаллических фаз (вивианита ( $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ), сидерита ( $\text{FeCO}_3$ ), наночастиц ферригидрита) штаммом *Desulfosporosinus metallidurans* OL указывает на высокую метаболическую гибкость и адаптационные механизмы, позволяющие использовать как сульфаты, так и сплавы железа в качестве акцепторов электронов, и демонстрирует способность бактерий эффективно манипулировать химическими элементами в окружающей среде. Ферригидрит, который представляет собой метастабильную форму гидратированного оксида железа, участвует в диссимиляционном восстановлении железа (железистое дыхание) и в среде обогащенной фосфором при биоминерализации образовывается вивианит. Полученные данные способствуют лучшему пониманию процессов минералообразования и биогеохимических циклов железа, фосфора в природных системах с участием сульфатредуцирующих бактерий. Биовосстановление ферригидрита и образование вивианита в бескислородных осадках имеет значительное влияние на локальные и глобальные циклы железа и фосфора.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект №. 22-24-00601 (<https://rscf.ru/project/22-24-00601/>).*

#### **Библиографический список**

1. Egger M. et al. Vivianite is a major sink for phosphorus in methanogenic coastal surface sediments // *Geochim Cosmochim Acta*. 2015. Vol. 169. P. 217–235.
2. Ikkert O. P. et al. Characterization of precipitates formed by H<sub>2</sub>S-producing, Cu-resistant Firmicute isolates of *Tissierella* from human gut and *Desulfosporosinus* from mine waste // *Antonie van Leeuwenhoek*. 2013. Vol. 103, № 6. P. 1221-1234.
3. Lemos V. P. et al. Vivianite and siderite in lateritic iron crust: an example of bioreduction // *Quim Nova*. 2007. Vol. 30. P. 36–40.
4. Liang D. et al. Dual-roles of carbon black to accelerate phosphorus recovery as vivianite // *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 884. P. 163850.
5. Sawicki J. A., Brown D. A. Investigation of microbial—mineral interactions by Mössbauer spectroscopy // *Hyperfine Interact*. 1998. Vol. 117, № 1–4. P. 371–382.
6. Wang X. et al. Effects of crystallite size on the structure and magnetism of ferrihydrite // *Environ Sci Nano*. 2016. Vol. 3, № 1. P. 190–202.
7. Zegeye A. et al. Biogenic hydroxysulfate green rust, a potential electron acceptor for SRB activity // *Geochim Cosmochim Acta*. 2007. Vol. 71, № 22. P. 5450–5462.

**Аккумуляция криогенной энергии атмосферного воздуха для охлаждения подземных сооружений в криолитозоне***Куваев В.А., Кузьмин Г.П.**Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, Россия, Vak-89@bk.ru*

**Аннотация.** Одной из основных задач при проведении подземных горных работ является устойчивость горного массива. В дисперсных мерзлых породах эта задача решается за счет поддержания массива грунта в твердомерзлом состоянии. В качестве примера в работе рассматривается подземное криохранилище семян растений, построенное и запущенное в 2012 г. в г. Якутске. Определенная отрицательная температура грунтов обеспечивается воздушным сезонно-охлаждающим устройством конвективного действия, аккумулирующим «холод».

**Ключевые слова:** мерзлый грунт, температура, охлаждающая установка, криохранилище.

**Accumulation of atmospheric air cold for cooling of underground structures in cryolithozone***Kuvaev V.A., Kuzmin G.P.**Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia, Vak-89@bk.ru*

**Abstract.** When conducting underground mining operations, the stability of the rock mass is the main task during design and operation. In loose frozen rocks, this task is solved by maintaining the soil mass in a solid frozen state. In 2012, in Yakutsk, the first underground cryostorage was built and put into operation, where a certain negative soil temperature is ensured by using natural renewable cold sources accumulated in the thickness of permafrost soils.

**Keywords:** frozen ground, temperature, cooling unit, temperature fluctuations.

**Введение**

Устойчивость подземных сооружений в толще дисперсных многолетнемерзлых грунтов с высокой отрицательной температурой близкой к 0 °С и в зоне распространения островной и прерывистой мерзлоты можно обеспечить за счет понижения температуры горного массива до более низких температур, при которых дисперсные породы не уступают скальным по устойчивости и прочности.

Существуют различные методы понижения температуры горного массива, один из самых распространённых – это использование сезонно-охлаждающих устройств (СОУ), которые в свою очередь делятся на воздушные, жидкостные и парожидкостные. Последние два СОУ в случае выхода из строя загрязняют почвы и грунты, требуют постоянного контроля работоспособности. Воздушные СОУ лишены данных минусов.

В Якутске в 2012 г. открыто подземное криохранилище семян растений, где реализована воздушная система охлаждения для поддержания температурного режима в рабочих помещениях в заданном интервале. Данная система автономна, экологична и не требует капиталовложений при эксплуатации. Используются только естественные криогенные ресурсы – «холод» многолетнемерзлых пород (ММП) и наружного воздуха.

Сохранение биоразнообразия растений может быть достигнуто долговременным хранением семян. В условиях происходящих техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (пожары, наводнения, эпидемии, мутации и др.) создание банков семян является эффективным методом сохранения генофонда растений. Данный метод имеет ряд преимуществ, таких как сравнительно большое количество образцов, при небольшой площади хранения; защищённость от внешних факторов и небольшая трудоемкость [3].

Как показали исследования, проведенные ранее, значительной части семян для лучшего сохранения биологических свойств необходимы низкая влажность (высушивание и герметичность образцов) и относительно стабильная отрицательная температура [1]. В большинстве случаев для поддержания температурного режима используются промышленные холодильные и морозильные установки, требующие значительных энергозатрат [3].

Исследованиями Института биологических проблем криолитозоны (ИБПК) СО РАН установлено, что оптимальной для длительного хранения является температура минус

(6...10) °С [4]. За 30 лет хранения в таких условиях всхожесть семян составила 60-100%, а генетические мутации – менее 15%. В то время как при хранении семян в условиях положительной температуры (в хранилищах г. Крымска, Екатеринбурга, Михнево) в течении 13 лет всхожесть снижается до 50-80%, а мутации составляют 6-14%, в течении 30 лет всхожесть равна нулю.

Недостатками других криохранилищ, оборудованных холодильными установками, (Норвегия, о. Шпицберген, г. Свальбард, «хранилище судного дня») являются значительные затраты энергии, расходы на обслуживание, возможность потери банка семян при аварийных отключениях холодильных установок.

#### Устройство криохранилища.

Криохранилище расположено в толще вечномёрзлых грунтов с начальной температурой минус 1,5 °С на глубине подошвы 11,0 м. Криохранилище оборудовано (рис. 1) двумя воздушными охлаждающими установками (ВОУ) конвективного действия: ВОУ-1 и ВОУ-2 для промораживания толщи грунта над рабочими камерами и аккумуляции холода в зимнее время. Циркуляция «холодного» воздуха по каналам ВОУ (с температурой ниже температуры воздуха в рабочих камерах) происходит под действием естественной тяги, возникающей вследствие разности потенциалов давления столбов воздуха в двух вертикальных каналах.

Охлаждающие установки состоят из горизонтальных каналов, соединяющихся с вертикальными каналами, для нисходящего и восходящего потоков воздуха. Верхние концы вертикальных каналов ВОУ располагаются на разных уровнях: для нисходящего потока воздуха несколько выше максимальной величины снежного покрова, для восходящего потока – на 5 м от поверхности земли [2].

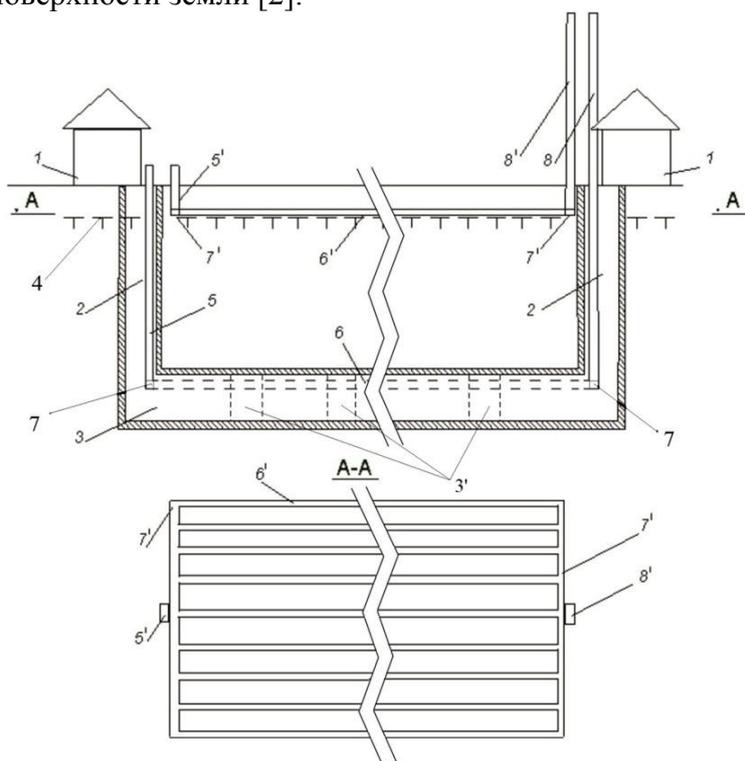


Рисунок 1. Схема воздушных охлаждающих установок криохранилища.

1 – наружные помещения; 2 – вертикальные стволы с лестничным отделением; 3 – основная горизонтальная рабочая камера; 3' – боковые рабочие камеры; 4 – граница слоя сезонного протаивания; 5 – 5' каналы для нисходящего потока ВОУ-1 и ВОУ-2; 6 – 6' охлаждающие каналы ВОУ-1 и ВОУ-2; 7 – 7' коллекторы; 8 – 8' каналы для восходящего потока ВОУ-1 и ВОУ-2.

#### Температура воздуха в рабочих камерах

На рис. 2 приведен график температуры воздуха в основной рабочей камере за 2021-2024 гг. эксплуатации криохранилища. Среднее ее значение составляет около минус 8,5 °С, что на

6 °С ниже установившейся температуры на стенке рабочей камеры до начала эксплуатации криохранилища. На короткий промежуток времени температура поднималась до минус 5 °С и опускалась до минус 19 °С. При необходимости пики температурных кривых могут быть «срезаны» устройством теплоизоляции вокруг емкостей с семенами. Как видно из приведенного графика, установился квазистационарный температурный режим криохранилища.

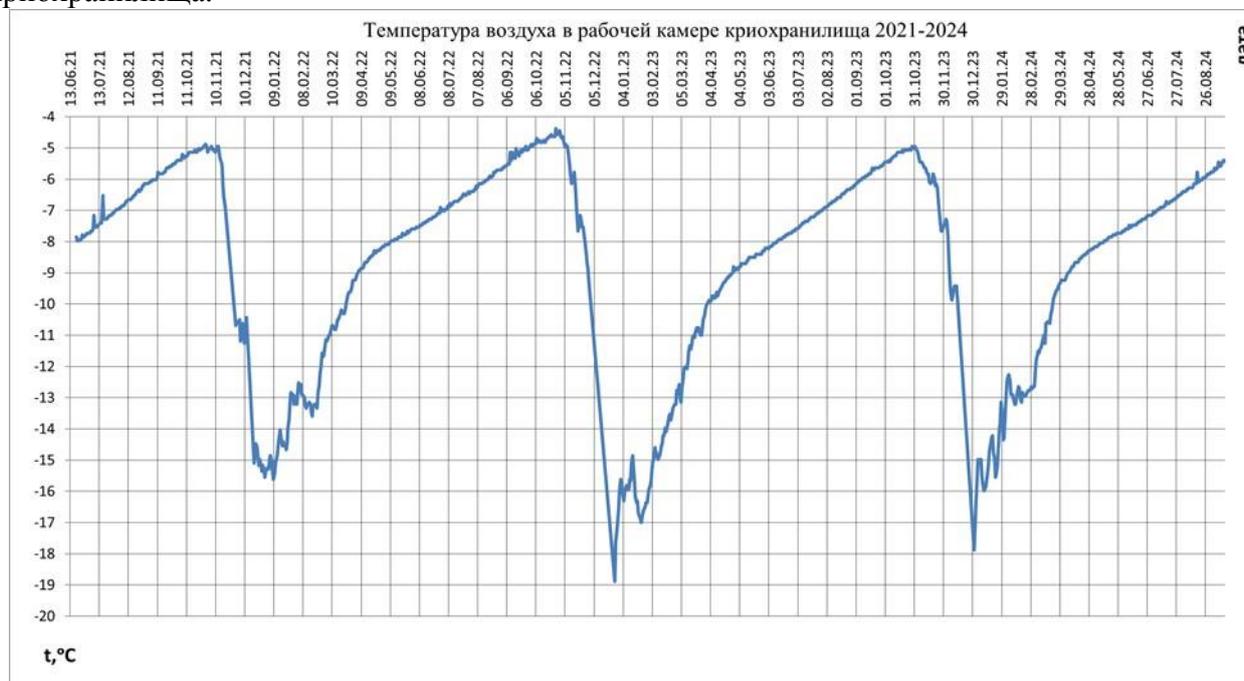


Рис. 2. Температура воздуха в рабочих камерах криохранилища за 2021-2024 гг.

В целом температура воздуха в рабочих камерах практически не выходит за рекомендованный интервал температуры хранения семян.

### Заклучение

Проведены испытания подземного криохранилища семян растений, построенного в толще многолетнемерзлых грунтов. Относительно низкие отрицательные температуры в рабочих камерах криохранилища круглогодично поддерживаются впервые в мире с использованием только естественных ресурсов «холода» ММП и наружного воздуха. Циркуляция «холодного» воздуха осуществляется с помощью охлаждающих установок конвективного действия, т.е. без затрат «товарной» энергии. Охлаждающие установки не требуют постоянного контроля и очень надежны.

Данный способ охлаждения хорошо зарекомендовал себя и может быть использован в районах с отрицательной температурой грунтов близкой к 0 °С. Понижение температуры грунтов приводит к повышению устойчивости и прочностных свойств дисперсных горных пород.

### Библиографический список

1. Кершенгольц Б.М., Жимулев И.Ф., Гончаров Н.П., Чжан Р.В., Филиппова Г.В., Шеин А.А., Прокопьев И.А. Сохранение генофонда растений в условиях многолетней мерзлоты: состояние, преимущества, перспективы // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т.16. № 3. С. 675-682.
2. Кузьмин Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне // Новосибирск: Наука, 2002. 176 с.
3. Чжан Р.В., Кершенгольц Б.М., Кузьмин Г.П., Ремигайло П.А. Федеральное криохранилище генофонда растений в условиях многолетнемерзлых пород на Северо-Востоке Евразии // Межотраслевой альманах «Деловая Слава России». №3 (36). 2012. С. 47-49.
4. Prokopiev I.A., Filippova G.V., Shein A.A., Khlebnyy E.S. Physiological–biochemical characteristics of *Pisum sativum* seedlings after long-term storage of seeds in the permafrost conditions // Cryobiology. Volume 65. Issue 3. December 2012. P. 347.

**Минералогический и химический состав почвообразующих песчаников коллизионной зоны Удинского-Витимского шва (Нижнеоронгойская котловина)**

*Убугунова В.И.<sup>1</sup>, Ласточкин Е.И.<sup>2</sup>, Аюшина Т.А.<sup>1</sup>, Убугунов В.Л.<sup>1</sup>, Жамбалова А.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия

ubugunova57@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБУН Геологический институт СО РАН им. Н.Л. Добрецова, Улан-Удэ, Россия

**Аннотация.** Песчаники Нижнеоронгойской котловины имеют полимиктовый состав, цементирующим материалом является в основном кальцит, глинистые минералы встречаются редко. Характерно повышенное содержание Ca, Sr, As, в отдельных пробах Ba, аномально низкое – Cu, V, Cr. Необычно трансформированные как морфологически, так и химически и минералогически локальные участки песчаников с аномально засоленными почвами и концентрацией P, Pb, As встречаются на прибортовой части котловины.

**Ключевые слова:** песчаники, почва, минералогия, Нижнеоронгойская котловина

**Collision zone of the Udinsky-Vitimsky juncture (Nizhneorongoy depression)**

*Ubugunova V.I.<sup>1</sup>, Lastochkin E.I.<sup>2</sup>, Ayushina T.A.<sup>1</sup>, Ubugunov V.L.<sup>1</sup>, Zhambalova A.D.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia

ubugunova57@mail.ru

<sup>2</sup> N.L. Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

**Abstract.** Sandstones of the Nizhneorongoy Depression have a polymictic composition with mainly calcite cementing material, clay minerals are rare. The increased content of Ca, Sr, As, in some samples Ba, and abnormal low Cu, V, Cr is characteristic. Unusually transformed both morphologically and chemically, and mineralogically local areas of sandstones with anomalously saline soils and concentrations of P, Pb, As are found on the side part of the basin.

**Key words:** sandstones, soil, mineralogy, Nizhneorongoy Depression

Почвы горных внутриконтинентальных районов южных областей Северной Азии с экстраконтинентальным климатом характеризуются многофакторностью процессов формирования, связанные с высокой неоднородностью геолого-геоморфологического строения и литогеохимического фона [3]. В настоящее время по этой территории имеются многочисленные материалы в основном по биофильным микроэлементам [1, 2], а также тяжелым металлам и металлоидам почв городских территорий Северо-Байкальска, Гусиноозерска, Улан-Удэ, Закаменска, Улан-Батора, Эрдэнета. В этих публикациях отсутствуют сведения о минералого-геохимических особенностях почвообразующих пород региона, связанные с неоднородностью тектонического и литолого-геоморфологического строения территории.

Целью данной работы является рассмотрение этого вопроса на примере изучения почвообразующих песчаников Оронгойской котловины. Эта впадина расположена в пределах глубинного тектонического разлома (Витимо-Джидинского структурного шва), представляющего собой коллизионную контактную зону областей мезозойской и кайнозойской тектономагматических активизаций. Песчаники встречаются на отдельных участках прибортовых частей котловины (разр. 1, N51°35'35,7"; E107°06'14,7", H=652 м.), повышенных участках внутреннего поля котловины (разр. 2X, N 51°62457, E 107°13871, высота – 659 м над ур. м.; разр. 17, N 51°60570, E 107°12724, высота – 541 м над ур. м.), в приозерных понижениях (разр. ОБ-6, N 51°54785, E 107°04361, высота – 526 м над ур. м.; разр. 12, N 51°55070, E 107°07615, высота – 541 м над ур. м.). Такая неоднородная локализация этих осадочных пород на разных высотных отметках достигает 100 м и более. Неогеновые песчаники, частично покрывающие борта, а также образующие холмы-останцы на днищах впадины накапливались в условиях межгорных замкнутых бассейнов, причиной формирования которых было не опускание днищ впадин, а быстрый рост межвпадинных перемычек, приводивший к образованию долговременных тектонических дамб [4].

В изученных песчаниках большинство элементов имеют околочларковые значения. Повышенное содержание отмечается для Ca (КК 4,1-5,8), Sr (КК 1,4-3,0), Ba (КК 1,1-2,0), рассеивание (КК>0,3) характерно только для Cu, V, Cr. Незначительные отличия по кларкам концентрации отмечаются для песчаников различных местоположений. Песчаник прибортовой части котловины имеет следующую ассоциацию породообразующих элементов:

$P_{5,9}Ca_{5,8}As_{3,2}Mn_{3,0}Li_{1,5}Sr_{1,4}Ba_{1,3}La_{1,0}Fe,Co,Ce,Pb,Y_{0,9}Sc,Ti,Be_{0,8}Zn,Al_{0,7}Ni_{0,6}Na,K,Mg_{0,5}V,S_{0,4}Cu_{0,3}Cr_{0,2}$ ;

Песчаник внутреннего поля котловины:

$Ca_{4,1}Mn_{3,5}Sr_{2,8}As_{2,4}Li,Ba_{1,3}P_{1,2}Pb_{1,0}Ce_{0,9}La,Ti,Al,Co_{0,8}Sc,Y,Na,K_{0,7}Be,Fe_{0,6}Ni,Zn_{0,5}V,Mg_{0,4}Cu,S_{0,2}Cr_{0,2}$ ;

Песчаник прибрежной зоны оз. Белое:

$Ca_{5,0}Sr_{2,4}As,Ba,Li,Mn_{1,1}Pb,Li,Ba_{1,0}K,Na_{0,8}Al,Be_{0,7}Ce,P,Co_{0,6}La,Ti,Sc,S_{0,5}Fe,Zn,Y,Ni_{0,4}Mg_{0,3}Cu,V,Cr_{0,2}$ .

Таблица. Содержание элементов в песчаниках Нижнеоронгойской котловины. 2X, ОБ-6, 12, 1 – средневзвешенное содержание элементов в почвах, 17-1,17-2,17-3 – пробы песчаников разной стадии разрушения (крупных, средних и мелких размеров)

Элементы	Кларк литосферы	2X	ОБ-6	12	1	17-1	17-2	17-3
%								
Al	7,61	5,87	5,21	5,84	5,14	5,43	4,96	1,58
Fe	4,06	2,36	1,64	1,73	3,70	1,62	10,8	>15,0
Ca	2,57	10,6	12,8	10,8	>15,0	14,17	13,47	10,01
Mg	1,49	0,62	0,41	0,33	0,75	0,37	0,95	1,15
K	2,32	1,70	1,84	2,57	1,25	2,62	1,34	0,24
Na	2,43	1,67	1,60	2,03	1,14	1,74	0,98	0,43
Ti	0,44	0,03	0,20	0,24	0,31	0,17	0,31	0,13
мг/кг								
Li	20	25,2	26,6	12,8	30,0	8,2	26,3	17,9
Cu	55	12,2	9,2	7,8	15,6	7,7	24,1	38,6
Sr	345	750	650	470	374	809	767	2207
Ba	400	500	460	820	500	822	750	1010
Be	3,0	1,9	2,2	1,9	2,3	2,0	3,3	6,3
Zn	70	37,0	29,2	23,8	49,0	24,4	70,9	69,5
Sc	11	7,8	5,4	4,0	9,1	3,8	12,1	21,5
Y	33	23,5	12,0	13,2	30,9	12,9	63,6	238
La	30	22,9	16,4	26,4	31,0	21,7	48,0	130
Ce	60	52,8	36,2	55,5	54,3	47,3	101,8	254
Pb	15	16,3	16,2	15,6	16,1	14,9	14,0	11,3
P	690	840	440	630	4075	453	6990	47760
V	135	38,7	25,9	23,3	47,3	21,6	72,2	113,8
As	5,6	13,5	6,1	15,6	18,2	10,6	15,6	370,6
S	953	182	498	435	377	350	513	1155
Mo	1,1	2,1	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
W	1,5	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	6,7	7,8
Cr	100	20,4	15,1	12,7	24,2	9,6	26,2	34,5
Mn	900	3010	1023	3010	2690	945	4830	14810
Co	10	7,6	6,2	7,8	9,2	7,8	11,8	11,5
Ni	20	9,1	7,2	7,3	12,7	6,3	16,1	13,8

Изученные песчаники имеют полимиктовый состав (рис.1). В породе преобладают такие минералы как кварц, калиевый полевой шпат и кальцит, плагиоклазы (олигоклаз, альбит) встречаются реже. Также присутствуют биотит, мусковит и хлорит. Акцессорные минералы представлены ильменитом, титанитом цирконом, апатитом, рутилом. Отмечены единичные зерна монацита размером 40-60 микрон. Цементирующим материалом для минералов является кальцит, в некоторых участках породы его количество достигает 50%. В ассоциации

с кальцитом наблюдается доломит и сидерит, последний часто образует прожилки и шлировые выделения размером до 300-400 микрон. В изученных песчаниках встречаются песчинки различных размеров, в том числе и с примесью алевролитовых частиц.

Глинистые минералы (каолинит, гидрослюды) встречаются редко в виде изометрической и неправильной формы зерен.

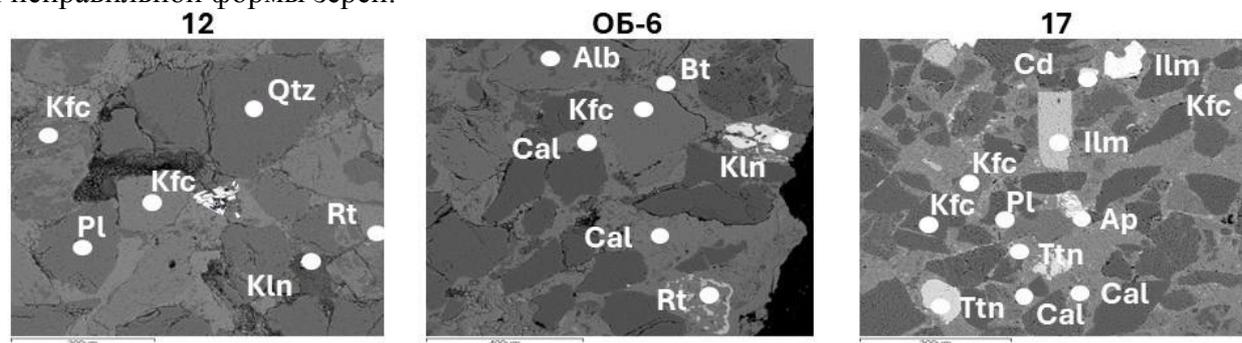


Рисунок 1. Ассоциации породообразующих и второстепенных минералов в песчаниках Нижнеоронгойской котловины. Аббревиатура минералов: Qtz – кварц, Pl – плагиоклазы, Kfs (Fsp) – калиевые полевые шпаты, Bt – биотит, Sr – сидерит, Cal – кальцит, Ap – апатит, Kln – каолинит, Cl – хлорит, R – рутил, Ilm – ильменит, Zr – циркон, Ttn – титанит

В условиях экстроконтинентального климата и дефицита почвенной влаги выветривание преимущественно физическое. Особенностью почв Оронгойской котловины является их дополнительное увлажнение за счет разгружающихся слабоминерализованных вод Ута-Булагских источников (разр. 2X), обводненных разломов и выклиниванием либо сильноминерализованных вод (разр. 12 НОК), либо слабоминерализованных (6-ОБ). В таких условиях происходит и химическое выветривание почвообразующих песчаников. Кроме того, более интенсивно происходят педогенные процессы. Преобладающими являются засоление и оглеение.

Наиболее близкий геохимический состав почв к почвообразующим песчаникам встречается в разр. ОБ-6. Только карбонатный горизонт маркируется заметным повышением Ca, но при этом его значения намного меньше, чем в песчаниках. Повышенное содержание S в горизонтах ВСА и Сса связано с его поступлением из озерных вод оз. Белое. В минералогическом составе отмечаются не типичные для песчаников минералы: эденит, гастингсит, паргасит. Часть из них могла поступить с эоловым переносом, либо за счет временных водотоков.

Для почв, формирующихся в зоне влияния разгружающихся вод источника Ута-Булаг (2X) характерно накопление вышекларковых значений в 2-5 раз La, Ce, Pb, Ba, Li, As, Mo. Выражена неоднородность внутрипрофильного распределения Ca, Mg, Sr, в карбонатном горизонте (17-40 см) отмечается резкое увеличение их содержания. Отмечается разнообразие минералов по сравнению с почвообразующими песчаниками. Во всех горизонтах присутствуют амфиболы (гастингсит, эденит, саданагаит, керсутит, и щелочной близкий по составу к тарамиту), эпидот и барит.

Почвы, формирующиеся в зоне влияния сильноминерализованных вод характеризуются сильным засолением. По элементному составу резко отличаются солончаковые горизонты. В солевой корочке разр. 12 содержание серы выше кларковых значений в 43,5 раза, отмечается также накопление Na, Sr, Pb, P, As. В 0-72 см слое околокларковые значения отмечаются у кальция, типоморфного элемента песчаников. Отмечается накопление W, As, Li, Sr, Ba, Be, P, Pb, La, Ce, Co. Часть элементов накапливается в результате испарительной концентрации (весенне-летний период) или мерзлотного вымораживания (S, Na). Повышенное содержание Sr, As связано с региональными особенностями пород.

Анализ минералогического состава разр. 12 показал, что их состав неоднороден по генетическим горизонтам. В солевой корке часто встречается биотит, реже ферропаргасит, циркон, апатит и смитсонит. Такая ассоциация минералов указывает на магматические породы, смитсонит формируется при постмагматическом гидротермальном воздействии. В

0-23 см слое более смешанная минералогия. На всех снимках встречаются минералы, характерные для гранитов и гранодиоритов: плагиоклаз (олигоклаз), калиевые полевые шпаты, кварц, магнетит, мусковит, биотит, циркон, апатит и более поздний хлорит. На глубине 23-72 см морфологически выражен темный и светлый вертикальные морфоны. В темном слое встречаются как минералы габброидных пород (щелочной амфибол, рутил, магнетит, циркон и апатит) так и гранитных (кварц, альбит). Целестин мог формироваться в гипергенных условиях и мог быть привнесен из близлежащего месторождения карбонатитов Аршана. Кордиерит скорее всего образовался при более поздних метаморфических процессах.

Почвы песчаников предгорной части (разр. 17) также очень сильно засолены. Каких-либо источников поступления легкорастворимых солей нет, а их количество аномально высокое. При таком засолении очень много участков вообще без растительности, по границам контура встречаются типичные галофиты и галотолерантные виды. На поверхности почвы очень много плоских крупных обломков песчаников, также встречаются песчаники размером 5-7 см и совершенно необычные очень мелкие зернистые куски (1-2 см) кирпичного цвета. Заложённые почвенные разрезы показали необычные профили с отсутствием каких-либо признаков их дифференциации на генетические горизонты. Отмечалось наличие импрегнированных вертикальных извилистых (при продольной зачистке поверхности) морфонов. Некоторые из них имели вертикальную трещиноватость, распались на отдельные. Такие морфологические особенности вскрытых почв выявили определенную однотипность с почвами Кучигерского термального поля [5]. Наличие аномального засоления этих почвоподобных образований, а также очень высокая концентрация в них ряда элементов (As, S, Pb, P) позволяет предположить их связь с катастрофическим 8-балльным Оронгойским землетрясением 1980 г. При разгрузке напряжения в земной коре возможно были выходы сильноминерализованных вод, в результате чего образовался глубоким овраг, а также произошло сильное разрушение исходных песчаников до очень мелких фрагментов (1-3 мм) и их обжига до кирпичного цвета, аномальное обогащение P, As, Pb, частично W, а в окружающем мелкоземом отмечается аномальное засоление преимущественно сульфатного типа. Крупные обломки песчаника сложены олигоклазом (15-25%), кварцем (10-15%), калиевыми полевыми шпатами (5-10%) и кальцитом (25-45%). Реже встречаются ильменит, титанит, апатит, циркон. В данном образце цементирующий кальцит составляет от 25 до 45%, остальное приходится преимущественно на плагиоклаз (олигоклаз), кварц и калиевые полевые шпаты. Альбит чаще образуется по калиевым полевым шпатам. Встречаются крупные кристаллы и зерна апатита, размером до 300 микрон. Сидерит встречается в ассоциации с кальцитом в виде прожилков по интерстициям минералов, также отмечены оксиды железа и кальция, близкие по составу к сидериту. В средних обломках породы встречается альбит, олигоклаз, хлорит, калиевые полевые шпаты, кальцит, сидерит, баритоцелестин, армалколит, апатит, циркон, псевдорутил. В мелких фрагментах песчаников большинство минералов представлено оксидами с очень высоким содержанием  $Fe_2O_3$  (24-56%),  $P_2O_5$  (3-25%), CaO (5-35%), зерна олигоклаза, альбита, кварца, барита, кальцита, апатита, калиевого полевого шпата.

Непосредственно в почвенном разрезе в 0-10 см слое встречается кварц, калиевые полевые шпаты, альбит, биотит, мусковит, эденит, хлорит, монацит, циркон, магнетит, гранат, гетит. В черном слое на глубине 10-55 см кварц, КПШ, альбит, биотит, мусковит, эденит, хлорит, монацит, циркон, магнетит, гранат, гетит. А в светлом слое на этой же глубине встречается биотит, мусковит, сидерит, гастингсит, монацит, оксиды.

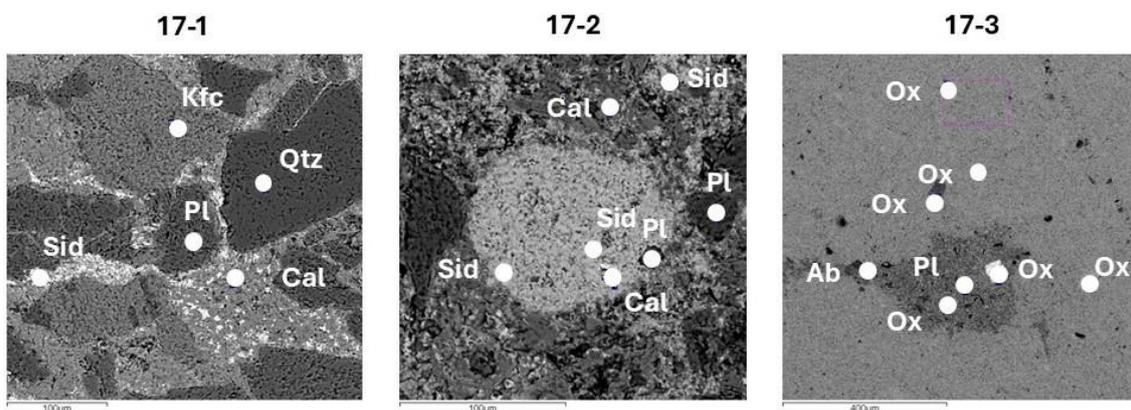


Рисунок 2. Ассоциация породообразующих и второстепенных минералов в песчаниках, различной степени трансформации. Аббревиатура минералов: Qtz – кварц, Pl – плагиоклазы, Kfs – калиевые полевые шпаты, Cal – кальцит, Sid – сидерит, Ox – оксиды,

Изучение минералогического и геохимического состава почв выявило локальные ареалы песчаников в разных частях Нижнеоронгойской котловины. Характерной особенностью их является полимиктовый состав, обогащенность кальцием, стронцием, мышьяком. Формирующиеся на них почвы в разной степени засолены. Аномальное засоление встречается в почвах аккумулятивных ландшафтов приозерного понижения (разр. 12) и почвах автоморфных позиций предгорной части хребта (разр. 17). Необходимо проведение более детальных исследований для подтверждения гипотезы о возможном влиянии активных сейсмических процессов на разгрузку сильноминерализованных вод и последующее засоление почв.

*Работа выполнена в рамках темы госзадания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН № государственной регистрации 121030100228-4.*

#### **Библиографический список**

1. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья // Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.
2. Кашин В.К. Особенности накопления микроэлементов степной растительностью Западного Забайкалья // Агрохимия. 2014. № 6. С. 56-66.
3. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Бажа С.Н. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния древесной растительности в г. Улан-Батор (Монголия) // Аридные экосистемы. 2011. № 4. С. 5–16
4. Смекалкин О.П., Чипизубов А.В., Радзимович Н.А., Имаев В.С. Сейсмическая активность Хамбинского разлома // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. С. 881–895.
5. Убугунов В.Л., Хитров Н.Б., Чижикова Н.П., Убугунова В.И., Варламов Е.Б., Жамбалова Д.А., Четчко Е.С. Свойства и минералогический состав темногумусовой квазиглеевой солончаковой солонцеватой криотурбированной мерзлотной почвы Баргузинской котловины (Бурятия) // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 62-94.

**Изучение состава нерастворимого осадка снежного покрова на Никольском  
каменноугольном месторождении**

*Чудинова О.Н.<sup>1</sup>, Дубенко К.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ, Россия, e-mail: chudinova1980@inbox.ru

<sup>2</sup>Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,  
г. Улан-Удэ, Россия, e-mail: dubenko.2002@inbox.ru

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения состава твердой фазы снежного покрова в районе Никольского каменноугольного месторождения. Снегомерная геохимическая съемка проводилась в 2024-2025 гг. по периметру участка добычи и в его центре. В качестве условной фоновой была взята проба снега в 15 км к северу, с наветренной стороны от разреза. Расчетная пылевая нагрузка во всех исследуемых точках превышает данный показатель в фоне в 1,82-478,96 раз. Морфологический состав проб с участка добычи угля представлен частицами преимущественно природного происхождения размером до 250 мкм.

**Ключевые слова:** снежный покров, каменноугольное месторождение, пылевая нагрузка.

**Study of the composition of insoluble snow cover sediment at the Nikolskoye coal deposit**

*Chudinova O.N.<sup>1</sup>, Dubenko K.A.<sup>2</sup>*

East Siberian State University of Technology and Management,  
Ulan-Ude, Russia, e-mail: chudinova1980@inbox.ru

East Siberian State University of Technology and Management,  
Ulan-Ude, Russia, e-mail: dubenko.2002@inbox.ru

**Abstract.** The paper presents the results of studying the composition of the solid phase of snow cover in the area of Nikolskoye coal deposit. Snow geochemical survey was carried out in 2024-2025 along the perimeter of the mining area and in its centre. A snow sample was taken as a conditional background sample 15 km to the north, on the windward side of the mine site. The calculated dust load at all investigated points exceeds this indicator in the background by 1.82-478.96 times. The morphological composition of samples from the coal mining site is represented by particles of predominantly natural origin up to 250 µm in size.

**Keywords:** snow cover, coal deposit, dust load.

Никольское месторождение каменных углей является частью крупной (110-120×4-8 км) в Забайкалье Тугнуйской угленосной депрессии, находясь в крайней восточной-замковой ее части. В административном отношении оно расположено на территории Мухоршибирского района Республики Бурятия (западная, менее угленасыщенная часть) и Петровск-Забайкальского района Забайкальского края (рис. 1). Балансовые запасы угля по категории В+С1 – 282 813 тыс.т. из них по категории В – 45 455 тыс. т, по категории С1 – 237 358 тыс. т; забалансовые запасы угля по категории С1 – 12 966 тыс. т.

В настоящее время на участке Никольский применяется комбинированная система разработки с использованием бестранспортных и транспортных схем экскавации. При определении порядка отработки учитываются такие условия как геологическое строение карьерного поля, места складирования вскрышных пород, расположение близлежащего населенного пункта с. Харауз, обеспечение наименьших расстояний транспортирования угля и вскрышных пород, формирование оптимальной длины фронта горных работ, фактическое положение горных работ, гидрографическая сеть участка [1].

Общая площадь месторождения 15 км<sup>2</sup>, в границах карьера 12,6 км<sup>2</sup>. Оно имеет форму правильной синклинали восток-северо-восточного простирания.

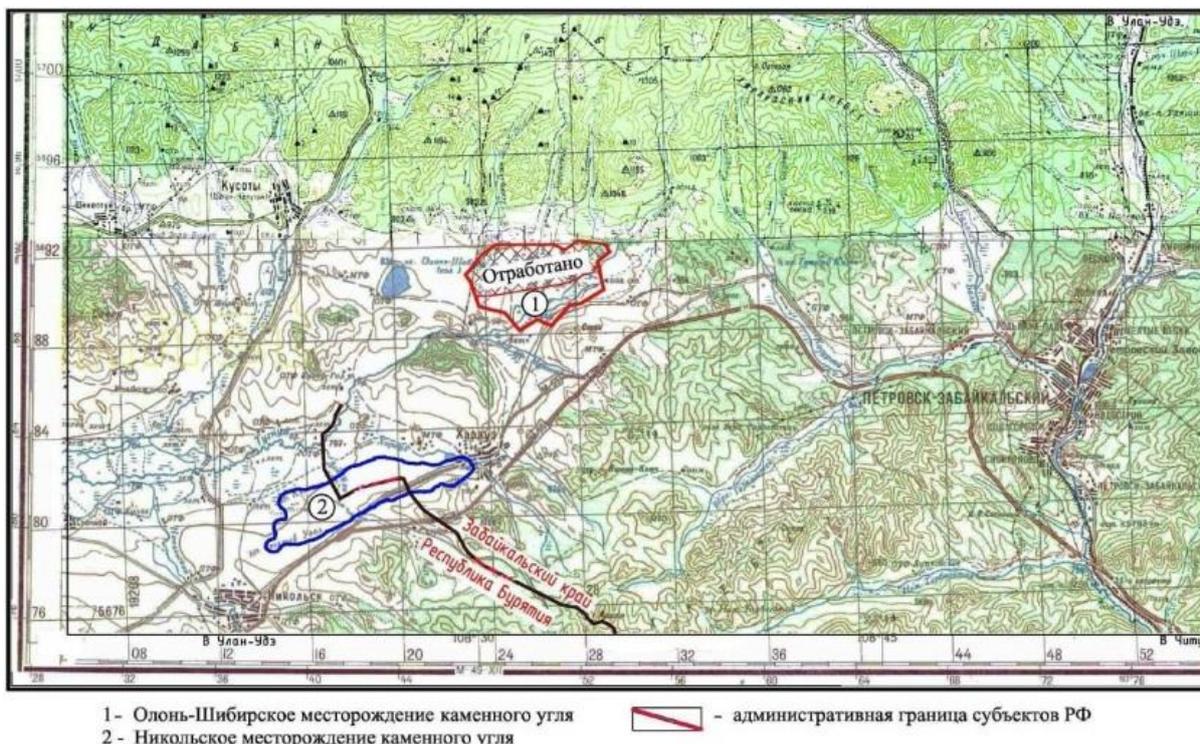


Рисунок 1. Обзорная карта Никольского каменноугольного месторождения

Пылевая обстановка на участке добычи в целом и его отдельных участков в значительной степени зависит от наличия, состава и характера движущихся воздушных потоков, которые в основном определяют количество приносимых, возникающих и выносимых из разреза вредных веществ, а иногда могут быть причиной интенсивного пылеобразования. Валовый выброс твердых веществ (взвешенные частицы PM2.5, бенз/а/пирен (3,4-бензпирен), пыль неорганическая: 70-20% SiO<sub>2</sub>, пыль каменного угля) на участке угледобычи составляет 327,331 т/год.

Для оценки распределения техногенного загрязнения на Никольском угольном месторождении использовался метод исследования снежного покрова. Снег обладает высокой сорбционной способностью, поэтому в нем аккумулируются продукты техногенеза. Благодаря этому становится возможным детальное исследование их химического состава. Снег способен вымывать из атмосферного воздуха аэрозольные нерастворимые частицы, а также различные растворенные загрязняющие вещества [2]. Благодаря тому, что снег накапливается на поверхности земли длительное время, он способен фиксировать в себе интегральные атмосферные изменения. Исследования химического состава снежного покрова на различных территориях, в том числе и в Республике Бурятия, активно проводятся в настоящее время [3]. Особую актуальность подобные работы имеют на техногенно-загрязненных территориях.

Снегомерная геохимическая съемка проведена в феврале 2024, 2025 гг. при максимальной высоте снежного покрова. При отборе проб снега замеряли площадь и глубину шурфа. Вес каждой пробы – около 10 кг. Для исследования были отобрано 12 проб: 8 проб по периметру участка добычи, 3 пробы непосредственно на участке добычи и фоновая проба – в 15 км к северу, с наветренной стороны от разреза (рис. 2). Для разделения твердой и жидкой фазы отобранные пробы снега оттаивались при комнатной температуре и фильтровались с помощью водоструйного насоса через фильтр «синяя лента». Твердую фазу снега высушивали при комнатной температуре, просеивали и взвешивали.



Рис. 2. Схема опробования снежного покрова на Никольском каменноугольном месторождении

Установлено, что талый снег имеет слабощелочную реакцию (рН 7,44–7,76), общая минерализация снега на исследуемой территории изменяется в диапазоне от 108 до 206 мг/дм<sup>3</sup>.

Пылевая нагрузка определялась расчетным методом (табл. 1). Для расчета использовались масса пыли в пробе твердого осадка снега, площадь шурфа и временной интервал между датой установления устойчивого снежного покрова и моментом опробования.

Таблица 1. Расчетная пылевая нагрузка

Точка отбора проб	Пылевая нагрузка, мг/(м <sup>2</sup> × сут.)	Превышение фона, раз
ТУР(Н)-1	243,08	27,01
ТУР(Н)-2	106,359	11,82
ТУР(Н)-3	486,001	54,00
ТУР(Н)-4	154,09	17,12
ТУР(Н)-5	115,79	12,87
ТУР(Н)-6	2385,334	265,04
ТУР(Н)-7	24,86	2,76
ТУР(Н)-8	717,16	79,68
ТУР(Н)-9	3493,082	388,12
ТУР(Н)-10	4310,614	478,96
ТУР(Н)-11	3306,573	367,40

Результаты показали, что расчетная пылевая нагрузка во всех исследуемых точках превышает данный показатель в фоне: наибольшая пылевая нагрузка наблюдалась непосредственно на участке добычи – превышение фонового значения в 367,4-478,96 раз, по периметру – от 11,82 до 267,04 раз. Высокое значение в точке ТУР(Н)-6 может быть обусловлено ее расположением с наветренной стороны и близостью к вскрышным и добычным работам.

Анализ морфологического и минерального состава твердого осадка проводился на растровом электронном микроскопе LEO-1430VP (Carl Zeiss, Германия) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments, Великобритания) в режиме переменного давления (Variable Pressure, VP) в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

Морфологический состав проб с участка добычи угля представлен, в основном, частицами размером до 250 мкм. Минеральный состав твердых частиц снежного покрова показывает значительное преобладание частиц природного происхождения (рис. 3а): алюмосиликатов, пирита, апатита и др.

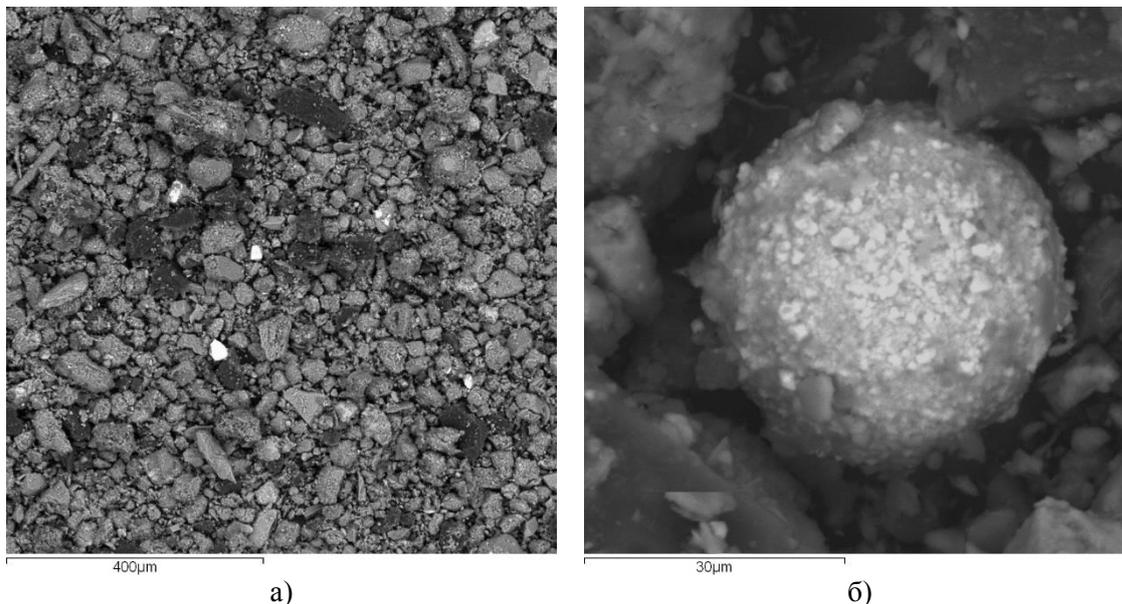


Рис. 3. Частицы, характерные для снежного покрова на участке угледобычи

Однако наряду с природными частицами обнаружены единичные металлические сферулы (рис. 3б) размером 30-50 мкм, которые, как правило, имеют техногенное происхождение и встречаются в районах предприятий теплоэнергетики. В 800 м в северо-восточном направлении находится с. Харауз, в 6 км к юго-западу – с. Никольск, где частный сектор отапливается углем, а также в 9,8 км от Никольского месторождения находится крупная котельная АО «Разрез Тугнуйский».

#### Библиографический список

1. Технический проект разработки участка «Никольский» с производственной мощностью 15 млн. тонн угля в год на Никольском каменноугольном месторождении.
2. Таловская, А. В. Эколого-геохимическая характеристика города с размещением угледобывающих объектов по анализу редких элементов в уличной пыли (Кемеровская область) / А. В. Таловская, Н. А. Осипова, Е. Г. Язиков // Добрецовские чтения: Наука из первых рук: Материалы Второй Всероссийской научной конференции, посвященной памяти выдающего ученого и организатора науки академика РАН Николая Леонтьевича Добрецова, Новосибирск - Горный Алтай, 18–26 июля 2024 года. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2024. – С. 262-265.
3. Оценка загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания угля и мазута на примере квартальных котельных г. Улан-Удэ / О. Н. Чудинова, Т. В. Чередова, А. А. Бутакова, А. П. Беспрозванных // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – Т. 32, № 2. – С. 184-197. – DOI 10.22363/2313-2310-2024-32-2-184-197.

## О геотехнологиях извлечения стратегически важных химических элементов из отходов обогащения руд редкометалльных и золоторудных месторождений Забайкалья

Г.А. Юргенсон<sup>1</sup>, Л.В. Шумилова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, e-mail: yurgga@mail.ru

<sup>2</sup>Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: shumilovalv@mail.ru

**Аннотация.** Показано содержание стратегически важных химических элементов в хвостохранилищах Забайкалья, сформированных за длительный период разработки полиметаллических, олово-полиметаллических, молибденовых и редкометалльных месторождений. В отходах обогащения полиметаллических руд установлены индий и кадмий, олово-вольфрамовых – висмут, олово, индий, кадмий и скандий (Шерловогорское рудное поле), олово-полиметаллических – олово, индий и кадмий (Хапчерангинское, Сопка Большая), в молибденовых – рений, золото и серебро (Шахтаминское, Давендинское, Гутайское), в редкометалльных пегматитах – литий, бериллий, ниобий, тантал и олово (Завитинское и Орловское), в золотосеребряных теллур и селен (Балейское рудное поле). Обоснована целесообразность создания современных, прежде всего, гидрометаллургических, геотехнологий их извлечения.

**Ключевые слова:** хвостохранилища, стратегические химические элементы, содержания, технологии извлечения

## On geotechnology for extracting strategically important chemical elements from the waste of enrichment of rare metal and gold ore deposits in Transbaikalye.

G.A. Yurgenson<sup>1</sup>, L.V. Shumilova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: yurgga@mail.ru

<sup>2</sup>Trans-Baikal State University, Chita, Russia, e-mail: shumilovalv@mail.ru

**Abstract.** The content of strategically important chemical elements in tailings storage facilities in Transbaikalia, formed over a long period of development of polymetallic, tin-polymetallic, molybdenum, and rare metal deposits, is presented. In the waste of polymetallic ore enrichment, indium and cadmium have been found, in tin-tungsten - bismuth, tin, indium, cadmium, and scandium (Sherlovogorsk ore field), in tin-polymetallic - tin, indium, and cadmium (Khappcherangin, Sopka Bolshaya), and in molybdenum - rhenium, gold, and silver (Shakhtaminskoye, Davendinskoye, Gutaiskoye), in rare metal pegmatites - lithium, beryllium, niobium, tantalum, and tin (Zavitinskoe and Orlovskoe), in gold-silver tellurium and selenium (Baleiskoe ore field). The feasibility of creating modern, primarily hydrometallurgical, geotechnological methods for their extraction is justified.

**Keywords:** Tailings, strategic chemical elements, contents, extraction technologies.

В пределах Шерловогорского рудного поля, где разрабатывались как богатейшие бисмутит-ферберит-касситеритовые россыпи (с 1916 по 1964 г.), так и олово-полиметаллическое месторождение Сопка Большая (с 1962 по 1993г.) находятся крупнейшие хвостохранилища, содержащие олово, (Шерловогорское рудное поле). Средние содержания главных элементов в руде даны в табл.1. Разработка Хапчерангинского олово-полиметаллического месторождения проводилась с 1934 по 1962 г, а обогатительная фабрика, перерабатывавшая также руды Курултыкенского, Букукунского и Тарбальджейского месторождений действовала до конца 1970-х. Руды Хапчерангинского месторождения содержали (мас.%): Sn 0,08 – 1; Pb – 0,3 – 25; Zn – 1 – 25; Cd – 0,01 – 0,17; In – 0, 0009 – 0,0056 [2]. Средние содержания основных элементов в рудах составляли (табл.1). В рудах содержались в качестве промышленно важных примесей кадмий, индий, литий, скандий, ниобий и серебро. Доля извлечения их из руд неизвестна. Но поскольку основная масса кадмия и существенная часть индия связаны со сфалеритом, серебром с галенитом, а часть индия, скандия и ниобия с касситеритом [4], они извлекались в концентраты этих элементов. Висмут в Шерловогорском (Сопка Большая) олово-полиметаллическом месторождении связан как с галенитом и галеновисмутитом, так и с висмутином, частью с рузвельтитом.

Содержание их в хвостах обогащения полностью зависит от совершенства применявшихся технологий обогащения руд. Руды Шерловогорского месторождения отличаются упорностью и даже с использованием полистадиальных гравитационно-флотационных методов, извлекаемость касситерита едва достигала 50%.

Таблица 1. Средние содержания основных элементов в рудах месторождений

Месторождение	Элемент и его содержание, %						
	Sn	Pb	Zn	Cu	As	Bi	S
Хапчерангинское	0,54	3,9	6,8	0,57	1,2	0,004	9,86
Шерловогорское	0,12	1,71	0,79	0,056	3,79	0,006	11,12

Содержания важнейших редких элементов хвостохранилищах, образованных в процессе деятельности Шерловогорского и Хапчерангинского ГОКов, приведены в таблице 2.

Как видно из приведенных в ней данных, наибольшие массы отходов находятся в хвостохранилище Шерловогорского ГОКа. Из рассматриваемых химических элементов наибольшими содержаниями для хвостохранилища Хапчерангинского ГОКа характеризуется кадмий, а для лежалых хвостов Шерловогорского ГОКа наибольшие содержания присущи висмуту, скандию, индию, ниобию и бериллию.

Таблица 2. Оценка массы отходов горного производства и содержания в них редких элементов

Промышленный тип руды, месторождение	Отходы, тыс. т	Элемент и его содержание, г/т							
		Bi	Cd	Sc	In	Be	Li	Nb	Ta
Олово-полиметаллический, Хапчерангинское	6201	2,8	27,8	35,3	1,8	<5	397	7	2,3
Олово-полиметаллический, Шерловогорское	17618	22,5	10,9	118	3,8	10,7	40	32	3

Использованы уточненные данные по массе отходов в хвостохранилищах, полученные Ю.Ф. Харитоновым и В.Г. Васильевым в 1997 г., а также опубликованные в работе [2]. Использованы и результаты новых аналитических данных, полученных авторами в процессе изучения минерального сырья хвостохранилищ.

В лежалых хвостах Хапчерангинского ГОКа присутствуют также относительно высокие содержания лития. Оценка запасов рассматриваемых химических элементов дана в табл. 3. Анализ данных показывает, что максимальными запасами висмута, кадмия, скандия, индия, бериллия и ниобия обладает хвостохранилище Шерловогорского ГОКа [4], хотя содержания лития и кадмия в лежалых хвостах Хапчерангинского ГОКа выше.

Таблица 3. Оценка запасов редких металлов в хвостохранилищах обогатительных фабрик, перерабатывавших руды олово-полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья

Месторождение, хвостохранилище	Отходы, тыс. т	Элемент и его запасы, т							
		Bi	Cd	Sc	In	Be	Li	Nb	Ta
Хапчерангинское	6201	17,4	172,4	218,9	11,2	Н.д	246,3	4,3	1,4
Шерловогорское	17618	396,4	192,1	2079	67	188,6	704,8	564,1	52,9
Сумма	23819	413,8	364,5	2297,9	78,2	188,6	951,1	568,4	54,3

Кроме редких элементов, в хвостах обогащения руд рассматриваемых месторождений присутствуют полезные компоненты, обеспечивающие комплексность этих геотехногенных руд и существенно увеличивающих эколого-экономическую целесообразность их переработки.

Оценка содержаний и запасов всех полезных компонентов, кроме редких элементов, дана в таблице 4. Анализ этих данных свидетельствует о значительных запасах свинца, цинка и олова в отходах обогащения руд Шерловогорского месторождения, и, в меньшей мере, Хапчерангинского. Отходы Шерловой Горы содержат также и серебро, запасы которого при среднем содержании 7,8 г/т составляют 137,4 т. Все рассматриваемые полезные компоненты, находящиеся в отходах обогатительных фабрик, связаны с определенными минеральными ассоциациями, извлечение которых возможно с использованием единой комплексной технологии.

Таблица 4. Оценка запасов сопутствующих полезных компонентов в хвостохранилищах обогатительных фабрик, перерабатывавших руды олово-полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья

Месторождение, хвостохранилище	Отходы, тыс. т	Элемент, его содержание, %, запасы, тыс. т							
		Pb		Zn		Sn		W	
Хапчерангинское	6201	0,133	8,25	0,321	19,9	0,044	2,73	0,002	0,24
Шерловогорское	17618	0,26	45,8	0,410	72,2	0,058	10,2	0,001	1,8

Особенностью, как первичных и окисленных руд, так и лежалых хвостов является высокое содержание мышьяка (табл.5), который связан с арсенопиритом и продуктами его гипергенных изменений – скородитом, рузвельтитом, миметитом и другими минералами.

Анализ всех полученных новых данных о составе отходов обогатительных фабрик рассматриваемых предприятий свидетельствует о том, что мы имеем дело с новыми геотехногенными месторождениями, формирующимися на протяжении многолетней истории горнодобывающей промышленности Восточного Забайкалья. В процессе отработки месторождения Сопка Большая создавались отвалы некондиционных руд, переработка которых также предполагается одновременно с хвостами обогащения, находящимися в хвостохранилище.

В результате рассмотрения горнопромышленных территорий, как геосистем с особыми геохимическими свойствами, выполнена их геохимическая типизация и определена их геохимическая унаследованность от рудноформационного типа обрабатываемых месторождений и установлено, что среди рассматриваемых горнопромышленных объектов наибольшую экологическую опасность представляют отходы переработки олово-полиметаллических руд, ландшафтные системы территорий которых отличаются высокими содержаниями мышьяка, свинца, кадмия, цинка [5] (табл. 5).

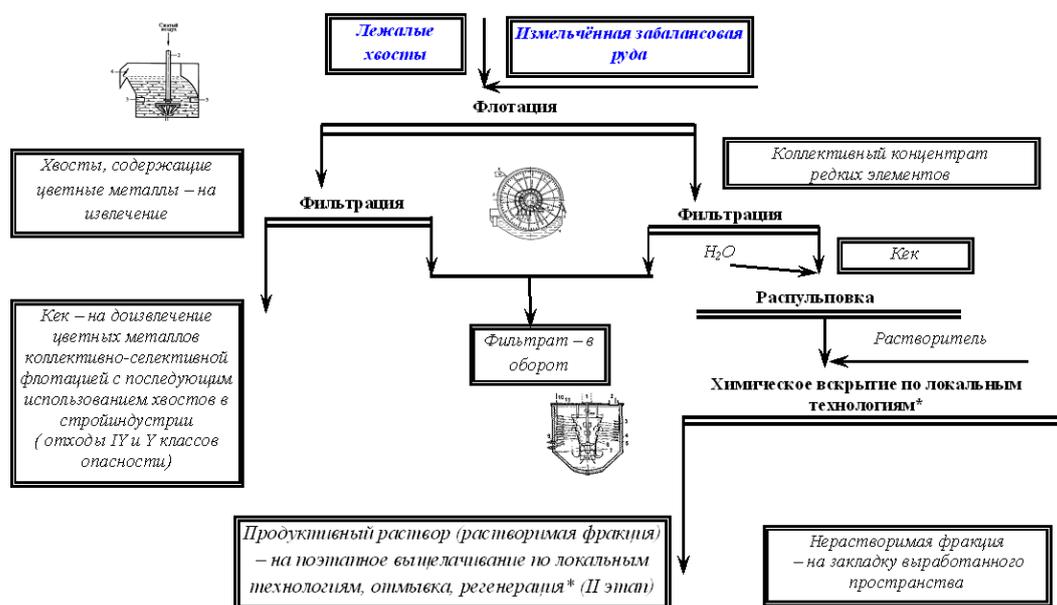
Таблица 5. Типичные ассоциации химических элементов и их концентрации (г/т) в геотехногенных ландшафтах рассматриваемых месторождений [5]

Месторождение и связанная с ним геосистема	Рудная формация	Геохимическая ассоциация	Геохимический тип
Хапчерангинское, Шерловогорское	Олово-полиметаллическая	As (650) Sb(40), Pb (1200), Mo(26), Zn (1750), Cd (18), Sn (260), W (50), Bi (16), F, Tl	Кадмий-олово-сурьяно-висмут-мышьяково-свинцово-цинковый
Спокойнинское	Грейзеновая сульфидно-кварцево-вольфрамитовая	Zn (400), Cd (8), Bi (240), W (988), Mo (38) Pb (51), Cu (214), Ag (12), Be (8)	Висмут-кадмий-цинк-вольфрамовый
Орловское, Мало-Кулинское, Завитинское	Редкометалльных пегматитов	Ta (70), Nb (115), Li (1018), Cs (221), Be (18)	Бериллий-тантал-ниобий-цезий-литиевый

Ландшафты Хапчерангинского и Шерловогорского месторождений относится к наиболее опасному кадмий-олово-сурьяно-висмут-мышьяково-свинцово-цинковому геохимическому типу. Отсюда следует, что, в первую очередь для улучшения экологической обстановки и получения наиболее ценных индия, скандия и бериллия целесообразно разработать технологию извлечения этих элементов, а попутно с ними висмута и кадмия. Все эти элементы остались в отходах передела с использованием комбинированного гравитационно-флотационного способа в связи с нахождением в тонких сростках или в виде изоморфных примесей в обогатительном процессе, которые не были извлечены применением этого способа.

Большой спектр разнообразия редких элементов в исследуемом техногенном сырье (Bi, Cd, Sc, In, Be, Li, Nb, Ta), а также наличие цветных металлов (Pb, Zn, Sn, W), определил необходимость создания комбинированной схемы, основные элементы которой могли быть положены в основу локальных технологий. На рис. 1-2 представлена, разработанная

авторами, комбинированная технология извлечения редких и цветных металлов из техногенных отходов хвостохранилищ обогатительных фабрик, перерабатывавших руды олово-полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.



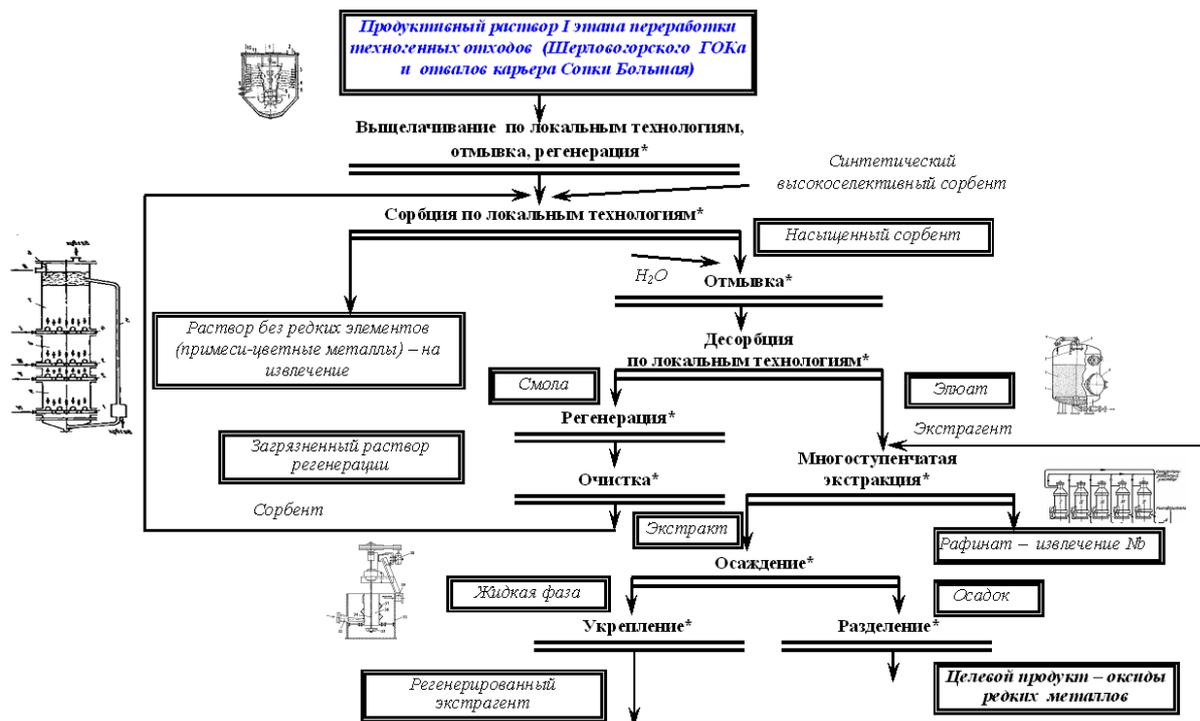
\* Bi, Cd, Sc, In, Be, Li, Nb, Ta

Рисунок 1. Комбинированная технология извлечения редких и цветных металлов из лежалых олово-полиметаллических хвостов Шерловогорского ГОКа и забалансовой руды

Накопленный многолетний положительный опыт ФХГ урановой и золотодобывающей отраслей промышленности сыграл большое значение при разработке авторами технологии применительно к редким элементам. Базисом комбинированной технологии является инновационная экологоадаптивная («зелёная») геотехнология XXI века – скважинное подземное выщелачивание [1].

Из многочисленных методов очистки и извлечения ионов редких металлов из продуктивных растворов скважинного подземного выщелачивания предлагается использовать экологически чистые методы сорбции и экстракции. Эти технологические приемы разделения близких по свойствам металлов при малых капитальных расходах и рациональном выборе сорбентов или ионообменных смол, позволят с высокой степенью извлекать комплекс редких элементов и получить их высокочистые (99,99%) соединения.

Включение сорбционных методов в комбинированную технологию также объясняется последними достижениями мировых разработчиков смол в области синтеза высокоселективных сорбентов (Великобритания, Германия и др.), в том числе ионитов с регулируемой на стадии синтеза пористостью сорбентов. Расширение ассортимента смол позволяет существенно облегчить создание принципиально новой промышленной технологии с применением выпускаемых сорбентов.



\* Bi, Cd, Sc, In, V, Li, Nb, Ta

Рисунок 2. Базовая гидрOMETALLУРГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ С ПОЭТАПНЫМ ИЗВЛЕЧЕНИЕМ РЕДКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ (ЭТАП II) ИЗ ОТХОДОВ ШЕРЛОВОГОРСКОГО ГОКА

Применение непрерывной экстракции, которую можно осуществлять в многоступенчатых аппаратах (экстракторах) при противотоке исходного раствора и экстрагента, позволит получить заданную степень экстракции, снизить расход экстрагента и повысить эффективность процесса разделения.

Одним из важных источников лития, тантала, висмута и вольфрама могут быть хвостохранилища *Орловского ГОКа*, разрабатывавшего Орловское литий-танталовое и Спокойнинское вольфрамовое месторождения. Основная часть месторождения представлена кварцевыми жилами с вольфрамитом и средне- и мелкозернистыми альбитовыми гранитами и грейзенами с вольфрамитом и сидерофиллитом со средним содержанием  $WO_3$  0,232%. 16 апреля 1940 года состоялось открытие рудника Спокойнинский, начавшего отработку одноименного месторождения. Извлечение вольфрамита на концентрационных столах составило в среднем 61,2%. В процессе изучения окрестностей Спокойнинского месторождения в 1960 г. В.А. Орловым, А.А. Беусом, А.А. Ситниным, Л.А. Черник, Н.А. Китаевым открыто Орловское месторождение тантала и лития. Оно представлено лепидолит-альбит-микроклиновыми пегматитами Породообразующими минералами рудоносных гранитов и пегматитов являются (%): альбит 25 – 50, кварц 20 – 25, лепидолит 7,5 – 25, микроклин 5– 10, топаз 3 – 5 [3]. Акцессорные минералы представлены флюоритом, ильменитом, монацитом, вольфрамитом, касситеритом, бериллом, рутилом, цирконом, эвксенитом. Полезные компоненты в руде составляли (мас.%)  $Ta_2O_5$  0,015 – 0,017;  $Nb_2O_5$  0,007 – 0,109;  $Li_2O$  0,23 – 0,30;  $Rb_2O$  0,03 – 0,16;  $Cs_2O$  0,005 [3]. Носителями тантала являются микролит и колумбит-танталит. Содержание колумбит-танталита находится в пределах 165 – 777 ppm (в грейзенах 1115), а микролита, содержащего 72 – 80%  $Ta_2O_5$ , – 40 – 280 ppm (в грейзенах 230, в альбититах 322). Среднее содержание  $Ta_2O_5$  в руде составляет 0,14% [3]. Добыча танталовой руды велась с перерывами с 31 августа 1962 г. по 2001 г., вольфрама – также с перерывами по настоящее время.

В настоящее время имеется два хвостохранилища, образованные отходами обогащения руд Орловского месторождения лития и тантала и Спокойнинского месторождения вольфрама. В связи с тем, что Орловский ГОК в разные отрезки времени разрабатывал либо оба месторождения одновременно, руда которых поступала на одну фабрику, где было две

технологических линии: танталовая для руд Орловского месторождения и вольфрамовая для руд Спокойнинского месторождения, либо одно из них. Отходы обогащения складировались или в общем хвостохранилище, либо, когда разрабатывалось только Спокойнинское месторождение в хвостохранилище поступали отходы обогащения только вольфрамовых руд. В техноземах определен широкий круг минералов, содержания которых достаточно велики (мас.%): вольфрамит 0,012 – 0,08; берилл 0,1 – 0,17; касситерит 0,002 – 0,01; бисмутит 0,01; пирит (до 0,008), сфалерит (до 0,002), галенит (до 0,005), халькопирит (до 0,007), колумбит до 0,01; анатаз 0,047 – 0,05; топаз 0,02 – 0,2; шеелит 0,001 – 0,01; монацит 0,002; флюорит 0,3; микроклин 20 – 25; кварц 25 – 50; мусковит 14,3 – 26. В хвостах переработки танталовых руд установлены (мас.%) колумбит-танталит 0,008; микролит 0,004; сфалерит 0,004; циртолит 0,04; топаз 2,5; калиевый полевой шпат 17; кварц 28; лепидолит 7,4; альбит 45. При этом, на старом хвостохранилище складированы хвосты обогащения как танталовых, так и вольфрамовых руд, а на новом в настоящее время только вольфрамовых.

В процессе разработки Орловского тантал-литиевого месторождения извлекались только минералы тантала – колумбит-танталит и микролит. Минералы лития – лепидолиит и циннвальдит уходили в отвальные хвосты. Изучено распределение W, Rb и Li, Sc, Ta и Nb, U и Th хвостах обогащения обеих фабрик, представленное в таблице 6.

Таблица 6. Среднее содержание химических элементов в хвостохранилищах Орловского ГОКа

Место отбора проб	Точка	Химический элемент и его содержание, ppm							
		Li	Nb	Rb	Sc	Ta	Th	U	W
Хвостохранилище 1	Т.3	1500	42,38	1472,5	140	59	7,9	3,8	117
	Т.4	480	35	647	140	26,1	4,5	3,3	224
	Т.5	220	54	397	150	31,1	6	6,4	886
Хвостохранилище 2	Т.6	100	52	394	140	21	5,9	7,7	844
	Т.8	100	38	348,5	140	12	4,8	9,8	425,5
Фоновый участок	ВХ-1	40	8	79,6	80	0,5	7,4	2	119
Кларк по Виноградову		40	20	150	10	2,5	13	2,5	1,3

В песках хвостохранилища №1, сложенного отходами обоих месторождений, существенно превышено содержание всех химических элементов, кроме Th. Для хвостов обогащения фабрики №2 установлены низкие содержания Rb и Li, Ta и U. Доля вольфрама здесь увеличена, что обусловлено снижением доли тантал-литиевых руд в объеме переработки. При этом, соотношение содержаний тантала и ниобия сдвигается в сторону увеличения доли ниобия, так как он содержится также и в вольфрамите Спокойнинского месторождения.

В целом содержания промышленно важных элементов (ppm) Rb (340–1880), Li (100–2130) и W (28–1050), Ta (11,4–77,9), Sc (130–150), Tl (4,4–5,9), Nb (35 – 54). в хвостах обогащения Орловского ГОКа достаточно высоки и здесь формируется новое тантал-ниобий-вольфрамит-литиевое геотехногенное месторождение. Этот процесс сопровождается выносом из слоистых силикатов в водную среду калия, лития, цезия. При этом происходит обогащение воды хвостохранилища литием (до 0,1-0,3 мг/л), калием (до 9,9 мг/л). Вода хвостохранилища содержит HF (до 5 мг/л F), HCl (до 14 мг/л хлора), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (до 490 мг/л SO<sub>4</sub>).

Для извлечения указанных выше редких элементов разработана технологическая схема (рис.3).

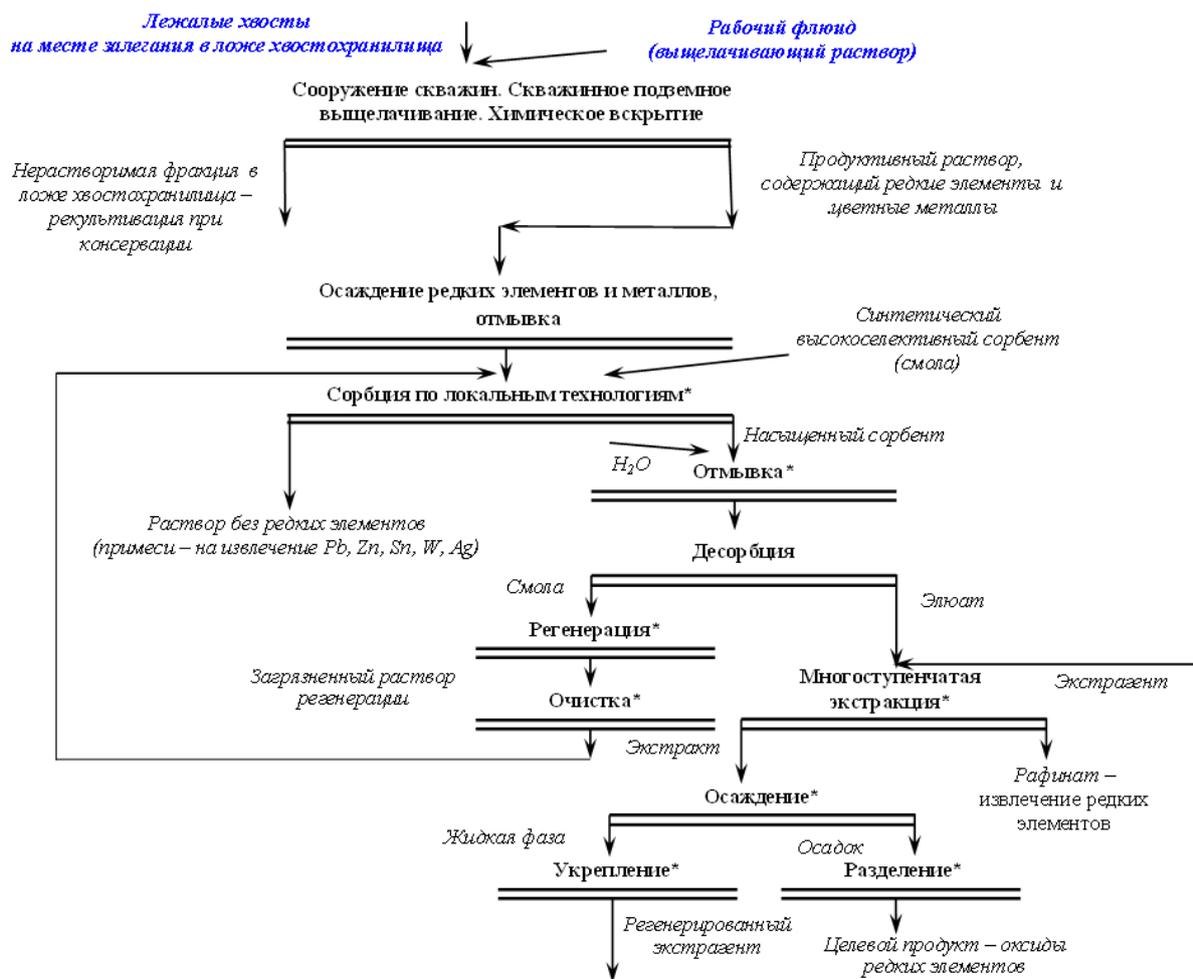


Рисунок 3. Базисная технология извлечения редких металлов и вольфрама из техногенных отходов хвостохранилищ Орловского ГОКа

Комбинат «Балейзолото», функционировавший в период 1929 – 1993гг., обрабатывал три месторождения золота в пределах *Балейско-Тасеевского (Балейского) рудного поля*. Балейско-Тасеевское рудное поле в середине XX столетия считалось одним из крупнейших поставщиков золота в Советском Союзе.

Балейско-Тасеевское рудное поле находится в Балейском районе Забайкальского края в долине р. Унда, правого притока р. Онон и приурочено к Балейскому грабену юрско-мелового возраста. Рудное поле состоит из трех месторождений, самым северным из которых является собственно Балейское в палеозойских гранодиоритах, непосредственно примыкающее к г. Балей. Второе, так называемое, Южное поле, находится в долине р. Унда в юрско-меловых отложениях Балейского грабена юго-восточнее Балейского, и третье, самое крупное, Тасеевское, приурочено к осадочной толще юрско-мелового возраста Балейского грабена. Возраст оруденения определяется как меловой (120 – 114 млн. лет).

В результате различных оценок с использованием разных подходов и методов анализа на золото определено, что масса хвостов фабрики ЗИФ-1 варьирует от 12287500 до 12535539 т при содержаниях, соответственно, 1,37 – 1,09 г/т, а ЗИФ-2 от 24639800 – 31293673 т при содержаниях 0,64 – 0,66 г/т. Исключив из объема хвостохранилища фабрики ЗИФ-1 почвенно-растительный глинистый слой и песчано-галечные речные отложения ООО «Тасеевское» на 01.01.2008 представляло на утверждение в ТКЗ запасы золота 9,317 т в объеме песчано-глинистого материала (илов) 8234 тыс. т при содержании 1,13 г/т. Хвосты фабрики ЗИФ-1 содержат также в среднем 3,4 г/т серебра. Поэтому имеет смысл рассматривать и его извлечение.

В жильных телах Балейского рудного поля выделяются: массивные, пятнистые или брекчиевидные существенно кварцевые или халцедон-кварцевые полосчатые, массивные, пластинчатые и гребенчатые агрегаты, содержащие золото в различных количествах. Размеры зерен, слагающие эти агрегаты, как правило, менее 1 мм. Все они составляют существенную часть обломочного материала. Основу первичных руд составлял преимущественно тонкозернистый кварц (70 – 99%), слоистые силикаты (0,01 – 21%) и адуляр (0,1 – 20%), а также карбонаты (0,05 – 8%). Рудные минералы были представлены (мас.%): арсенопиритом (0,05 – 0,6 %), пиритом (0,03 – 1,1 %), сфалеритом (0,01 – 0,07), халькопиритом (0,01 – 0,08), галенитом (0,004 – 0,07), сульфосолями (0,07 – 1,95), аргентитом (0,0001– 0,05), золотом самородным (0,0001 – 34,6), теллуридами золота, серебра, ртути (0,0001– 0,19). Селен находился преимущественно в пирите. В верхних частях отработанных месторождений присутствовал поздний стибнит (0,01 – 2,1). В процессе обогащения руд существенная часть всех рудных минералов извлечена. По данным минералогического анализа в лежалых хвостах фабрики ЗИФ-1в хвостах содержится 71 – 85,6% кварца, 10,8 – 13,7% полевых шпатов, 10,2 – 18,1 глинистой фракции, 3 – 17 карбонатов, 0,08 – 1,87% сульфидов и сульфосолей. Содержание золота 0,08 – 1,9г/т. Определено, что свободное золото составляет 26 – 30,1%. В сростках с кварцем, слоистыми силикатами и карбонатами находится 32,3 – 35,6% золота и в тонких сростаниях с сульфидами и сульфосолями 35,7 – 38,9%.

Электронно-микроскопическим методом определено, что достаточно часто золото находится в сростках с кварцем, сидеритом, пиритом, арсенопиритом, сульфосолями, чаще всего с миаргиритом, фрайбергитом. Размеры золотинок находятся в пределах от первых микрон до 30 микрон. Содержания серебра в золотинок по данным 51 анализа находится в пределах 8,49 – 37%, а золота, соответственно 63 – 91,51%. Средняя пробность золота составляет 83,13 при среднеквадратичном отклонении 6,32.

Авторами разработана технологическая схема переработки лежалых хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото», которая состоит из подготовительных операции (фотоэлектроактивационная подготовка, окомкование с активным раствором), кучное выщелачивание окатышей, двухстадиальной сорбции с барботажем озоном. Экспериментальным путём подобраны оптимальные режимные параметры (см. рис.4). Извлечение золота составило не менее 65%, что на 15 % больше альтернативных вариантов. Готовый продукт – золото лигатурное соответствует ТУ -117-27-75 «Золото лигатурное». Твёрдая фаза после обезвреживания относится к 4 классу опасности и может использоваться в дорожной и строительной промышленности (рис.4).

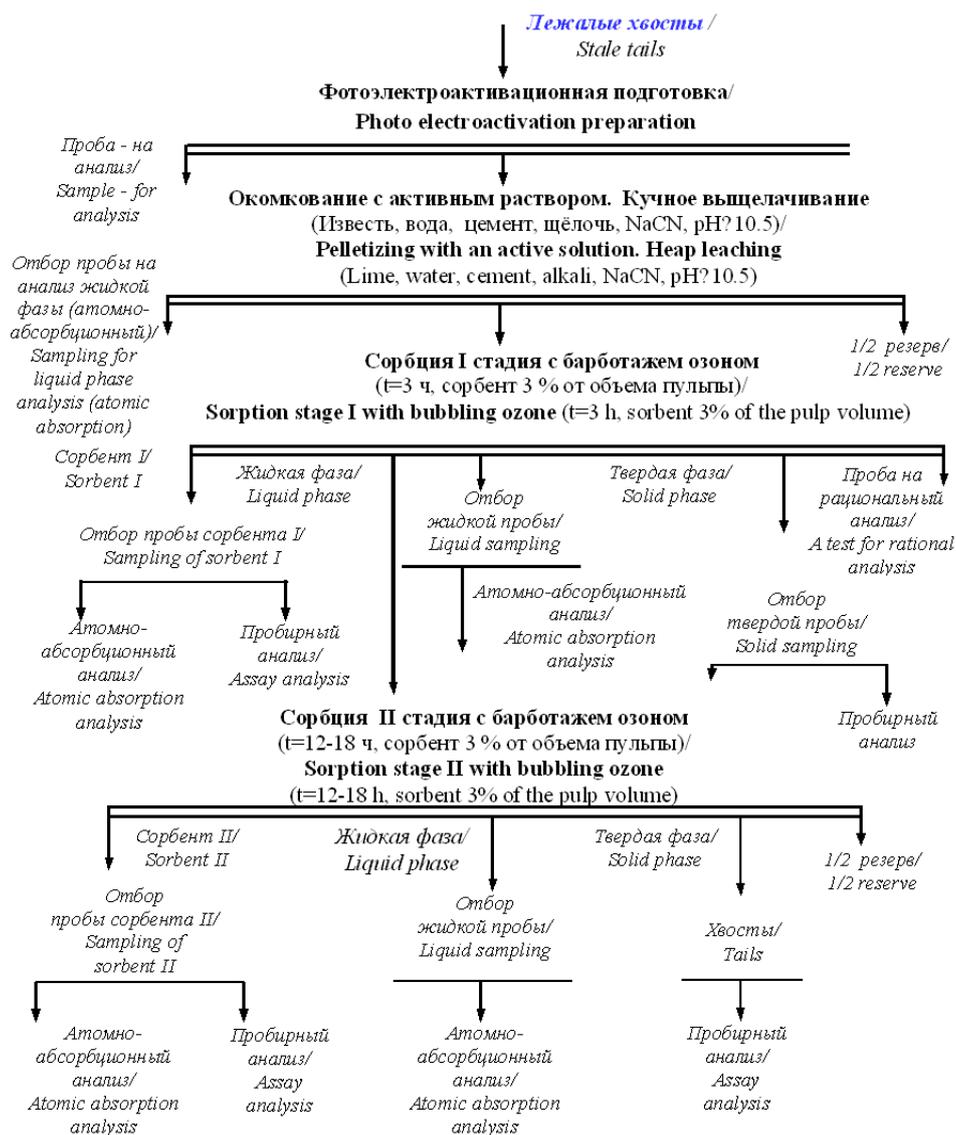


Рисунок 4. Технологическая схема переработки лежалых хвостов ЗИФ-1 комбината «Балейзолото»

### Выводы

1. Результаты изучения содержания указанных благородных, цветных, редких и стратегически важных элементов в отходах обогатительных фабрик однозначно свидетельствуют о целесообразности переработки хвостохранилищ как с целью извлечения полезных компонентов, так и уменьшения негативного влияния на окружающую среду.

2. Разработаны современные геотехнологии их извлечения, обладающие элементами новизны и включающие химическое вскрытие по локальным технологиям, в том числе скважинное подземное выщелачивание в ложе хвостохранилища, сорбцию, десорбцию и экстракцию по локальным технологиям, фотоэлектроактивационную подготовку лежалых хвостов перед кучным выщелачиванием, которые позволят получать высокочистые соединения редких элементов, повысить комплексность использования минерального сырья и экологический уровень хозяйственной деятельности предприятий.

*Работа выполнена в рамках госзадания по теме № FUFР-2021-0005.*

### Библиографический список

1. Аренс В.Ж., Шумилова Л.В., Фазлуллин М.И., Хчян Г.Х. Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов // *Металлург.* – 2017. – № 9. – С. 82-89.
2. Бойко С.М. Элементы-примеси в касситеритах оловорудных месторождений как индикатор зонального распределения компонентов в рудных телах // *Зап. Забайк. фил. Геогр. о-ва СССР*, 1982. – Вып. 48. С. 39–43.

3. Гребенников А.М. Орловское месторождение лития и тантала // Энциклопедия Забайкалья. Гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. Т.Ш.– Новосибирск: Наука, 2006. – С.394.
4. Юргенсон Г.А., Кононов О.В., Афанасьева А.С. и др. Скандий Шерловой Горы / //200 лет РМО. Юбилейный съезд Росс. Минерал. общ-ва. Материалы конференции. Т.2. – СПб, 2017. – С.356-357. <http://www.minsoc.ru/2017-1-299-0>.
5. Юргенсон Г.А. Ландшафтно-геохимические и геозитические проблемы исторических горнопромышленных территорий на примере Забайкалья // Горный журнал, 2020, №5.– С. 81 – 86. DOI: 10. 17580/gzh.2020.5.15.

## Горнопромышленные геосистемы Забайкалья: проблемы и состояние их изученности

Юргенсон Г.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены минералого-геохимические особенности горнопромышленных систем, образовавшихся в результате разработки золоторудных, оловополиметаллических, молибденовых, вольфрамовых и редкометалльных месторождений. Выделены две их группы по интенсивности влияния на окружающую среду – мышьяковые и безмышьяковые. Дана информация о миграции химических элементов в процессе геотехногенеза, поведении их в растениях. Приведены сведения о современном минералообразовании, основные положения формирования геотехногенных месторождений, технологиях извлечения стратегически важных элементов их отходов горного производства.

**Ключевые слова:** горнопромышленная геосистема, рудная формация, миграция химических элементов, геотехногенез, Забайкалье

## Mining industrial geosystems of Transbaikalia: problems and the state of their study

G.A. Yurgenson

Institute of Natural Resources, Ecology, and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, e-mail: [yurgga@mail.ru](mailto:yurgga@mail.ru)

**Annotation.** The mineralogical and geochemical features of mining systems formed as a result of the development of gold, tin-polymetallic, molybdenum, tungsten, and rare metal deposits are examined. Two groups are distinguished based on their intensity of impact on the environment – arsenic and non-arsenic. Information is provided on the migration of chemical elements during geotechnogenesis and their behavior in plants. Information is provided on modern mineral formation, the main principles of the formation of geotechnogenic deposits, and the technologies for extracting strategically important elements from their mining production waste.

**Keywords:** mining industrial geosystem, ore formation, migration of chemical elements, geotechnogenesis, Transbaikal.

## Введение

Забайкалье относится к историческим горно-промышленным регионам России, где впервые в 1698 году начал действовать первый в стране сереброплавильный Аргунский (Нерчинский) завод, выпускавший первые в России серебро с золотом, а также свинец. Забайкалье дало России первые промышленные руды флюорита (Дучарское, Пури, Солонечное), ртути (Ртутный Ильдикан), олова (Первоначальное), молибдена (Чикойское), вольфрама (Шерловая Гора, Антонова Гора, Дедова Гора), висмута (Шерловая Гора), лития (Завитинское). За более, чем 320-летнюю историю горнозаводского дела, освоено более ста месторождений различных рудных формаций.

**Особенности горнопромышленного комплекса Забайкалья.** Забайкалье является одной из исторических территорий России, где впервые в нашей стране были добыты серебро (1704), рудное золото (1714), флюорит (1746), олово (1811), молибден (1915), вольфрам (1916), висмут (1916), уран (1946), одни из первых яшм (1717) и аквамарин (1723). Первое промышленное производство лития в России также начато на Завитинском месторождении в Забайкалье.

В течение двух столетий с 1698 по 1905 гг. разрабатывалось 463 полиметаллических месторождения. Наиболее крупные из них (Благодатское, Воздвиженское, Кадаинское, Михайловское, Екатерининское, Акатуевское, Зерентуйское, Покровское, Савинское №5, Трех-Святительское) отличались наибольшей массой окисленных руд, которые и были объектом отработки. Большинство из них открыто до 1788 года. До 1905 г. они дали 1 174 214 т богатой руды. Разведка их на глубину и на флангах в 1926 – 1953 гг. позволилакратно увеличить запасы сульфидных руд и возродить их добычу. На примере роста интенсивности добычи только полиметаллических руд можно показать резкое возрастание объёмов массы отходов горного производства.

Если за 200 лет с 1704 по 1905 гг. было добыто 1 174 214 т горной массы, то лишь за 40 лет работы в XX веке (1953 – 1993 гг.) Нерчинский полиметаллический комбинат добыл 16 200 000 т руды, тот есть в 10 раз больше [4].

Если же учесть все действовавшие в советское время горнопромышленные предприятия, разрабатывавшие месторождения золота, молибдена, вольфрама, олова, редких металлов (литий, бериллий, тантал, ниобий), флюорита, урана и углей, то мы получаем огромную цифру.

Какова же доля извлекаемых и остающихся в хвостах обогащения минеральных масс?

Вот некоторые примеры: при обогащении полиметаллических руд с содержанием свинца и цинка 1-3 % при извлечении 90% в отвал уходит от 80 до 85% в виде отходов. При обогащении медных руд Удокана со средним содержанием меди 1,4% при извлечении 95% (это максимум) в отвал уйдет более 80% горной массы, то есть, при добыче 7,5 млн. т руды ежегодно будет уходить в отвал около 6 млн. т горной массы. А разработка всех запасов руды в 1,1 миллиард тонн руды даст около одного млрд т отходов, не считая вскрыши и боковых пород. При обогащении молибденовых руд с содержанием 0,2% в отвал уйдет более 95%. При обогащении золотоносной руды с содержанием золота 5 г/т при запасах 100 т в отвал уйдет более 99% от добытой руды.

Например, только в пределах Балейско-Тасеевского рудного поля в результате работы комбината Балейзолото при разработке Балейского месторождения за 1929 – 1973 гг. добыто 12,3 млн т руды и при содержании золота 12,6 г/т извлечено 153,9 т металла и создано 12,3 млн. т отходов с содержанием золота 1,07 г/т, (запасы 13,6 т) , а в результате разработки Тасеевского месторождения и Южного поля за 1960– 1993 гг. при усреднённом содержании золота 4,65 г/т добыто 120,2 т и создано отходов 24,5 млн т при его содержании 0,64 г/т (запасы 16,017 т).

С учетом объемов вскрышных работ всех разрабатывавшихся месторождений, включая угольные, в Забайкалье накопилось примерно 3,3 млрд т отходов горного производства.

На примере старейшей Забайкальской исторической горнопромышленной провинции показано, что разработка месторождений полезных ископаемых приводит к невозполнимым изменениям ландшафтных систем, потерям для будущих поколений сельскохозяйственных земель, изменениям биоценозов, и геологического природного наследия, и, в целом, к нарушениям экологической среды, в которой возникает негативное воздействие на животных и человека.

**Минералого-геохимическая горнопромышленная геосистема.** Отсюда возникает необходимость всестороннего и детального изучения этих территорий как горнопромышленных геосистем, являющихся продуктами взаимодействия природы и человека, с использованием минералого-геохимических методов.

Поскольку природной основой возникающих в пределах горно-промышленных территорий ландшафтных систем является минеральное вещество, на котором развивается вся его биологическая составляющая, важнейшей их составной частью являются минералого-геохимическая геосистема, включающая месторождения полезных ископаемых, соответствующие природные и антропогенные геохимические ландшафты и развитую на них биоту.

Исходя из этого в процессе изучения минералогии и геохимии месторождений определённых рудных формаций и соответствующих им природных и природно-антропогенных ландшафтов на территориях размещения соответствующих предприятий горного производства, впервые сформулировано понятие минералого-геохимическая горно-промышленная геосистема, разработано соответствующее научное направление и получены первые фундаментальные и прикладные результаты их изучения.

#### **Главные направления исследований**

- 1) минералого-геохимическое изучение геосистем, включающих как сами рудные месторождения, так и ландшафты горно-промышленных территорий их освоения;
- 2) изучение влияния техногенеза и геотехногенеза на состояние ландшафта геосистем

3) изучение современного гипергенного минералообразования в геотехногенных ландшафтах;

4) изучение поведения химических элементов в системе почва → растение: органы растения: корни → стебли → листья → (цветы, плоды, семена) → домашние животные → человек;

5) изучение влияния природных и техногенных геохимических барьеров на процессы:

а) миграции и концентрирования химических элементов

б) современного минералообразования, и, как следствие - на состояние окружающей природной среды;

5) разработка теории и технологии формирования геотехногенных месторождений на природных и техногенных геохимических барьерах;

б) разработка основных геотехнологических решений извлечения полезных компонентов из отходов горного производства;

7) биологическая рекультивация техногенных массивов на основе использования результатов изучения барьерности-безбарьерности корневых систем растений относительно определенных химических элементов;

8) обоснование необходимости решения задач недропользования с позиций плановой экономики, сохранения био-и георазнообразия и норм геоэтики.

#### **Основные методы исследования**

1) Изучение минерального и химического состава вещества техногенных и геотехногенных ландшафтов с использованием традиционного количественного минералогического анализа, диагностики и химического состава мелких их фракций с использованием электронной микроскопии;

2) экспериментальное и физико-химическое моделирование возможных процессов образования минеральных фаз, их ассоциаций и руд в гипергенных и гипогенных условиях, а также формирования геотехногенных месторождений в техногенных массивах отходов горного производства;

3) изучение минерального и химического состава этих новообразований как с целью проверки достоверности моделей, так и оценки их в качестве геотехногенного минерального сырья для извлечения рядовых цветных и благородных металлов, а также стратегически важных химических элементов, таких как Sc, In, Te, Li, Cd, Tl, Se, Ta;

4) изучение биогеохимического состояния геосистем, включая исходные руды и горные породы, коры выветривания (зоны окисления, почвы и растения по указанной выше схеме);

5) разработка геотехнологий извлечения из хвостов обогащения и складов упорных руд указанных выше химических элементов.

#### **Основные результаты**

1) Впервые произведена минералого-геохимическая типизация горнопромышленных территорий Забайкалья как единых ландшафтно-геохимических геосистем с орудением определенных рудных формаций и продуктов геотехногенного преобразования отходов их разработки, определены главные химические элементы, представляющие опасность для экологического состояния природной среды (таблица). Из таблицы видно, что выделены две основные группы геосистем: мышьяковые и безмышьяковые. К первым относятся все золоторудные, полиметаллические и олово-полиметаллические месторождения и отходы их разработки. К ним примыкает редкая ртутно-сурьмяно-вольфрамовая геосистема Барун-Шивеинского киноварь-антимонит-ферберитового месторождения. Ко вторым – месторождения вольфрама грейзеновой формации и молибдена.

Среди первых выделены: 1) собственно мышьяковый тип, к которому относятся месторождения золотокварцевой формации; 2) мышьяк-сурьмяный (месторождения малоглубинной золотосеребряной формации и золото-сульфидно-кварцевой в гранитоидах; 3) мышьяк-висмутовый и мышьяк-сурьмяно-висмутовый (месторождения в гранитоидах с генетической связью с субщелочными породами среднего состава); 4) мышьяк-сурьмяно-молибденовый в гранитоидах с предельно минимальным содержанием мышьяка; 5)

мышьяково-полиметаллический, объединяющий полиметаллические, олово-полиметаллические и золото-полиметаллические формации.

Таблица. Типичные ассоциации химических элементов и их концентрации (г/т) в техноземах геотехногенных ландшафтов с оруденением определенных рудных формаций

Месторождение и связанная с ним геосистема	Рудная формация	Геохимическая ассоциация	Геохимический тип
Любавинское, Казаковское	Среднеглубинная золото-кварцевая	As (800), Sb (3), Bi (3), W(9)	Мышьяковый
Балейское, Тасеевское	Малоглубинная золото-серебряно-кварцевая	As(800), Sb (100), Zn(90), Te, Se	Мышьяк-сурьмяный
Ключевское	Золото-сульфидно-кварцевая	As(300), Sb (60), Bi (9), Cu (450), Pb (56), Mo (5)	Мышьяк-сурьмяный
Среднеголготайское	Золото-сульфидно-кварцевая	As(350), Sb (8), Bi (55), Cu (45), Mo (50), W (2), Te	Мышьяк-висмутовый
Верхнеалиинское	То же	As (860),Pb(312), Cu (110), Zn (190), Sb (79), Bi(16)	Мышьяк-сурьмяно-висмутовый
Александровское	Золото-молибден-сульфидно-кварцевая	As(340), Sb(12), Mo(320), Zn (42),Bi (2.4)	Мышьяк-сурьмяно-молибденовый
Хапчерангинское, Шерловогорское	Олово-полиметаллическая	As (650) Sb(40), Pb (1200), Mo(26), Zn (1750), Cd (10), Sn (260), W (50), Bi (16), F, Tl	Свинец-цинк-мышьяково-сурьмяно-висмут-олово-кадмиевый
Новоширокинское, Нойон-Тологойское,	Золото-полиметаллическая	As(880), Pb (530), Zn (440), Cd (15), Cu (140), Sb(95), Bi (15)	Мышьяк-свинец-цинк-сурьмяный
Кличкинское, Савинское №5, Акатуевское	Полиметаллическая	As(780), Pb (420), Zn (640), Cd (21), Cu (130), Sb (98), Bi (11)	Мышьяк-цинк-свинец-сурьмяный
Давендинское	Золото-кварц-молибденитовая	Cu(40), Mo (100), Pb (40), As (80), Sb (10), Bi (21)	Молибден-висмутовый
Бугдаинское, Шахтаминское	Кварц-молибденитовая порфировая	As(53), Sb(22), Pb (300), Zn (50), Mo (650), W (45), F	Молибден-сурьмяный
Бом-Горхонское	Грейзеновая сульфидно-кварцево-гюбнеритовая	Zn (800), Cd (16), Bi (260), W (986), Mo (38) Pb (51), Cu (214), Te	Вольфрам-висмутовый
Антоновогрское, Букуинское, Спокойнинское	Грейзеновая сульфидно-кварцево-вольфрамитовая	Zn (400), Cd (8), Bi (240), W (988), Mo (38) Pb (51), Cu (214), Ag (12), Be (8)	Вольфрам-висмутовый
Барун-Шивеинское	Киноварь-антимонит-ферберит-кварцевая	As (800), Cu (250), Hg (30), Sb (83), W (587)	Мышьяк-ртутно-сурьмяно-вольфрамовый
Орловское, Мало-Кулиндское, Завитинское	Редкометалльных пегматитов	Ta (70), Nb (115), Li (1018), Cs (221), Be (18)	Бериллий-тантал-ниобий-цезий-

			литиевый
--	--	--	----------

Примечание. В скобках даны средние содержания химических элементов.

Для типа 5 характерны высокие концентрации As, Sb, Pb, Zn, Sn, Cd, Cu, Bi, Te, Tl в отходах горного производства с преобладанием Sb или Bi в зависимости от геохимической специализации месторождения, а также постоянным присутствием Cd более 2 г/т, превышающем ОДК. Ко второму, безмышьяковому вольфрам-висмутовому типу геосистем отнесены месторождения вольфрама и геотехногенные ландшафты Бом-Горхонского и Спокойнинского геосистем, а также и остановленных в 1960-х гг. Антоновогорского, Букуинского, Ангатуйского рудников. Их отходы содержат токсичные концентрации Pb, Zn, Sn, Cd, Cu, Bi, Mo и W. К безмышьяковому молибден-сурьмяновому отнесены Бугдаинская и Шахтаминская геосистемы, хотя в составе сульфосолей, играющих здесь несущественную роль, он присутствует. К безмышьяковой группе относятся и месторождения редкометалльных пегматитов [4]. Пространственное положение рассмотренных геосистем показано на рисунке.

2) Установлено, что находящиеся в рудах и отходах их обогащения находятся сульфиды, окислением которых дает серную кислоту, в результате формируются сульфат-анион и большинство химических элементов переходит в миграционное состояние. Часть их захватывается растениями. Поедаемыми скотом, они оказываются в молоке, молочных продуктах, мясе. Далее в этой цепочке участвует и человек. Определено, что только подвижная часть токсичных элементов поглощается из почв растениями, накапливаясь в корнях и листьях, где происходит фотосинтез. Значительно меньше их в стеблях, выполняющих транспортную роль, и минимальны их содержания в семенах, что определяется необходимостью сохранения чистоты вида [6].

3) Результаты изучения современного минералообразования в техногенном массиве. Определено, что перешедшие в миграционное состояние химические элементы на различных геохимических барьерах в пределах техногенных массивов, а также в рыхлом материале, заполняющем пространство карьеров, в их бортах и донных поверхностях временных водных потоков образуют ассоциации твердых фаз, преимущественно сульфатов, карбонатов и арсенатов этих химических элементов.

4) Изучен вещественный состав техногенных массивов, претерпевших изменения в процессе геотехногенеза. Как в моно- так и в полиминеральных ассоциациях наблюдаются примеси сопутствующих химических элементов (мас.%), таких как Zn (до 1,83), Cu (до 6,31), Mo (0,3) и As (до 0,12), Ni (0,1), Co (0,06), U (до 0,003), Sb (до 0,013), Pb (0,0137 – 0,0342), W (до 0,0018), Bi (0,0022), Cd (0,0018), Hg (0,0001 – 0,0008), Te (до 0,0456).

5) Разработана минералого-геохимическая модель перехода химических элементов в миграционное состояние и формирования геотехногенных месторождений в горно-промышленных геосистемах золоторудных формаций на примере Забайкалья [1].

6) Разработаны геотехнологии извлечения золота [3], теллура и селена [5], редких металлов [2].

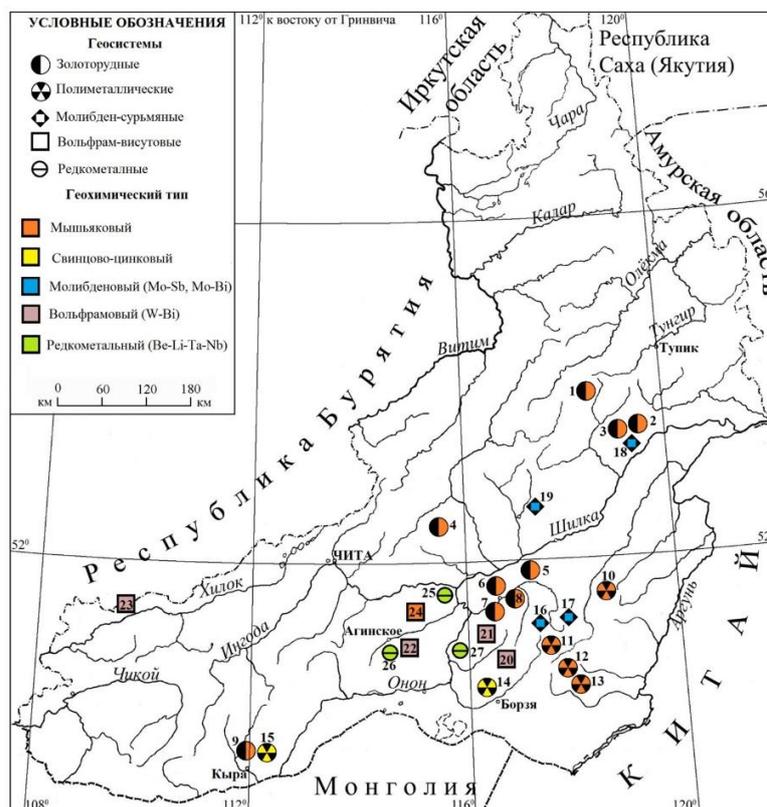


Рисунок 1. Распространенность горнопромышленных геосистем (месторождений и соответствующих им хвостохранилищ) Забайкалья различной экологической опасности. Составил Г.А. Юргенсон

I – Мышьяковые: золоторудные (1–9): 1 – Итакинская, 2 – Александровская, 3 – Ключевская, 4 – Дарасунская, 5 – Казаковско-Ключевская, 6 – Бале́йская, 7 – Среднегологотайская, 8 – Верхнеалиинская, 9 – Любавинская; полиметаллические (10 – 15): 10 – Новоширокинская, 11 – Акагуйская, 12 – Нойон-Тологойская, 13 – Кличкинская, 14 – Шерловгорская, 15 – Хапчерангинская. II – Безмышьяковые: молибден-сурьмяные (16 – 18)– 16 – Бугдаинская, 17 – Шахтаминская, 18 – Давендинская; 19 – Жирекенкая; вольфрам-висмутовые (20 – 24): 20 – Антоновогорская, 21 – Букуинская, 22 – Спокойнинская, 23 – Бом-Горхонская, 24 – Барун-Шивеинская; редкометалльные (25 – 27): 25 – Завитинская, 26 – Орловская, 27 – Малокулиндинская.

### Библиографический список

1. Eremin O.V., Epova E.S., O.S. Rusal., O.S., and Yurgenson G.A., Phase transformations of Bi, Sb, Se, Te and U in the oxidation model of wolframite rocks of the Sherlovaya Gora deposit (Eastern Transbaikalia) // E3S Web of Conferences 462, 03019 (2023) AFE-2023.– P. 03019. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346203019>.
2. Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А., Хатькова А.Н. К обоснованию технологии извлечения редких металлов из отходов горного производства на примере лежалых хвостов Орловского ГОКа (Восточное Забайкалье) // *Металлург.* – 2021. – № 10. – С. 90–99. –DOI: 10.52351/00260827\_2021\_10\_92
3. Шумилова Л.В., Черкасов В.Г., Юргенсон Г.А., Мязин В.П. Разработка и апробация технологии переработки песков дражного полигона для извлечения золота и тяжелых минералов, содержащих магнитные частицы // *Вестник ЗабГУ.* – 2020. – Т. 26. – № 8. – С. 49– 58. DOI:10.21209/2227-9245-2020-26-8-49-58
4. Юргенсон Г.А. Ландшафтно-геохимические и геоэтические проблемы исторических горнопромышленных территорий на примере Забайкалья // *Горный журнал.*–2020.– № 5.– С. 81 – 86. DOI 10.17580/gzh.2020.05.15 .С. 81 – 86.
5. Yurgenson G.A., Shumilova L.V. Tellurium and selenium in the gold-silver ore of the Baleyky ore field (Eastern Transbaikalia) and development of their associated extraction method // *Metallurgist.*–2025.–N 1.– Pp. 112–118. Crossref. – Published Print: 2025. – Update policy: [https://doi.org/10.1007/springer\\_crossmark\\_policy](https://doi.org/10.1007/springer_crossmark_policy).– DOI: link: <https://doi.org/10.1007/s11015-024-01854-8>
6. Юргенсон Г.А., Гудкова О.В., Солодухина М.А., Горячкина А.Г., Филенко Р.А., Тартынская Т.В. Биогеохимические особенности растений Шерловгорского горнорудного района // *Проблемы геологической и минерагенической корреляции в сопредельных территориях России, Китая и Монголии: Тр. VI международного симпозиума по геологической и минерагенической корреляции в сопредельных районах России, Китая и Монголии и Чтений памяти акад. С.С. Смирнова: 11-15 октября 2005 г., Чита, Россия.* –Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН.– С.215– 222.

## 5. Биогеохимия природных ландшафтов и зоны геотехногенеза

УДК: 574.2:550.47

### Биогеохимические индикаторы антропогенного воздействия в горнопромышленных районах Забайкалья

*Барановская Н.В.<sup>1</sup>, Михайлова Л.А.<sup>2</sup>, Вершкова Е.М.<sup>1</sup>, Казакова А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,  
e-mail: [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru); [vem@tpu.ru](mailto:vem@tpu.ru); [aak303@tpu.ru](mailto:aak303@tpu.ru)

<sup>2</sup>Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия, e-mail: [mihailova-la@mail.ru](mailto:mihailova-la@mail.ru)

**Аннотация.** Исследование элементного состава волос жителей пяти населенных пунктов Забайкальского края выявило значительное накопление элементов, связанное с деятельностью горнодобывающих предприятий. Установлено, что волосы служат надежным биомаркером техногенного загрязнения, отражая специфику местных производств.

**Ключевые слова:** биомониторинг, волосы, хвостохранилища, Забайкальский край.

### Biogeochemical Indicators of Anthropogenic Impact in Mining Areas of Transbaikalia

*Baranovskaya N.V.<sup>1</sup>, Mikhailova L.A.<sup>2</sup>, Vershkova E.M.<sup>1</sup>, Kazakova A.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia,  
e-mail: [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru); [vem@tpu.ru](mailto:vem@tpu.ru); [aak303@tpu.ru](mailto:aak303@tpu.ru)

<sup>2</sup>Chita State Medical Academy, Chita, Russia, e-mail: [mihailova-la@mail.ru](mailto:mihailova-la@mail.ru)

**Abstract.** The study of hair elemental composition in five settlements of Transbaikalia region revealed significant accumulation of toxic elements (Ag, As, Au) associated with mining activities. Hair proved to be a reliable biomarker of technogenic pollution, reflecting local production specifics.

**Keywords:** biomonitoring, hair, tailings, Transbaikalia region.

Территория Восточного Забайкалья, являющегося одним из старейших горнопромышленных регионов России, на протяжении более трех столетий подвергалась интенсивной разработке полезных ископаемых. Многолетняя добыча минеральных ресурсов привела к существенным изменениям природной среды, включая образование огромного количества промышленных отходов, трансформацию естественного рельефа и значительное загрязнение экосистем. На территории бывшей Читинской области зарегистрировано 46 горнодобывающих предприятий (12 прекративших деятельность и 34 действующих или временно законсервированных), которые сформировали техногенные скопления общим объемом около 2,9 миллиардов тонн [4]. Основная масса этих техногенных образований сосредоточена в юго-восточных и центральных районах области, причем значительная их часть располагается в непосредственной близости или даже в пределах населенных пунктов. Особую экологическую озабоченность вызывает именно близость промышленных отвалов к местам проживания населения, что создает постоянные риски для здоровья местных жителей. Оценка воздействия факторов окружающей среды на формирование элементного статуса населения, определяющего качество жизни, является весьма актуальной для таких территорий. Индикаторами воздействия могут выступать различные биосубстраты, однако наиболее эффективное применение нашли волосы человека.

Волосы представляют собой уникальный биологический индикатор, позволяющий достоверно оценить степень воздействия окружающей среды на организм человека. Их способность последовательно накапливать химические элементы на протяжении всего периода роста делает этот биосубстрат особенно ценным для мониторинга хронического воздействия техногенных загрязнителей.

Для исследования было отобрано 90 проб в 5 населенных пунктах: пгт. Вершино-Дарасунский (n=29), с. Вершино-Шахтаминский (n=5), пгт. Кличка (n=22), с. Новый-Акатуй (n=6), с. Хапчеранга (n=28).

Выбор указанных населенных пунктов для проведения исследования обусловлен их расположением в зонах активной горнодобывающей деятельности. Так, пгт. Вершино-Дарасунский известен историческим производством мышьяка и золотоизвлекательной

фабрикой, пгт. Кличка - серебряносвинцовым рудником, а остальные поселки расположены вблизи действующих или заброшенных горных выработок. Все эти территории характеризуются наличием хвостохранилищ, отвалов вскрышных пород и других техногенных образований, сформировавшихся за более чем вековой период промышленного освоения региона [2].

Особое внимание в исследовании уделялось выявлению элементов-маркеров, которые могут однозначно свидетельствовать о влиянии конкретных техногенных объектов. Предполагается, что элементный состав волос жителей будет существенно различаться в зависимости от типа разрабатываемых месторождений и особенностей производственных процессов на близлежащих предприятиях. Полученные данные позволят не только оценить текущий уровень воздействия, но и реконструировать историю загрязнения территорий.

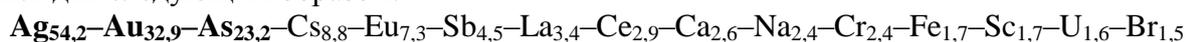
Содержание химических элементов в пробах определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в лаборатории НИ ТПУ. В настоящем исследовании представлены результаты определения содержания ряда химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U) в волосах 90 добровольцев. В расчеты не вошли элементы, содержание которых было меньше предела обнаружения в более чем 50% проб, а так же пробы, содержащие ураганные значения.

Для построения геохимического ряда был использован коэффициент концентрации (КК), рассчитанный относительно медианы по выборке.

Во всех рассматриваемых населенных пунктах начиная с XIX-XX веков осуществлялась или осуществляется добыча полезных ископаемых с образованием соответствующих отходов. Обсуждение вопросов рекультивации хвостохранилищ началось лишь в 70-х годах прошлого столетия, поэтому большинство этих объектов остались без проведения рекультивационных работ или консервации.

В поселке городского типа Вершино-Дарасунский с 1865 года добывают золото, а в 1934 году начала работать обогатительная фабрика. Кроме того, с 1940 по 1970 годы в этом населенном пункте функционировал мышьяковый завод. Площадь хвостохранилища составляет 80 га, а объем отходов - 6,5 млн тонн. Хвосты содержат большое количество различных цианидов:  $\text{As}(\text{CN})_3$ ,  $\text{S}(\text{CN})_2$ ,  $\text{CuCN}$ ,  $\text{AgCN}$ , помимо этого здесь обнаружены сульфаты, сульфиды, оксиды и гидроксиды свинца, железа, меди и цинка [3].

Геохимический ряд концентрирования элементов в волосах населения этого пункта выглядит следующим образом:



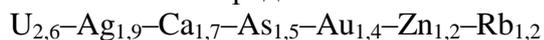
Разработка месторождения молибдена и работа обогатительной фабрики в поселке Вершино-Шахтаминский начались в 1938 году и продолжались в течение 60 лет. В результате такой деятельности было образовано хвостохранилище площадью 16 га и объемом 4,5 млн тонн. Хвостохранилище расположено примерно в трех километрах от поселка. В отходах флотационного процесса переработки молибденовой руды присутствуют Mo, Pb, Cu, S, Ag, Au [2].

Геохимический ряд волос населения этого поселка:



Кличкинский серебряносвинцовый рудник начал свою работу в 1953 году, позднее в 1975 году в центре поселения заработал Нерчинский полиметаллический комбинат, куда приходило сырье с ближайших шахт. Результатом такой деятельности стало формирование хвостохранилища объемом 4,4 млн тонн отходов и площадью 50 га. Хвостохранилище содержит хвосты обогащения флотации, полезные компоненты представлены серебром, золотом, кадмием, свинцом и цинком. Элементами с наибольшей концентрацией, содержащимися как в рудах, так и в отходах месторождений Кличкинского узла, являются Zn As Pb Sn Sb Cd Bi Ag Mo [5].

Геохимический ряд волос населения н.п. Кличка:



Акатуевское свинцово-цинковое месторождение было открыто в 1815 году и функционировало почти 200 лет. Добывающее предприятие - Акатуевский рудник действовал с 1958 по 2001 года. Добытая порода перерабатывалась на обогатительной фабрике с 1965 по 2001 года. В результате было сформировано хвостохранилище, содержащее хвосты обогащения мокрых способов. Объем хвостохранилища составляет 20 тыс. м<sup>3</sup>. Из-за избирательного или неполного извлечения элементов в хвостах остались Pb, Zn, Cd, As, Mo, а так же серебро и золото [1].

Геохимический ряд волос жителей п. Акатуй:

$U_{6,96}-Ag_{6,68}-Cs_{4,53}-Ce_{3,23}-Ca_{3,18}-Au_{2,80}-Zn_{2,70}-La_{2,24}-Ba_{2,18}-As_{1,41}-Sc_{1,33}$

Хапчерангинское оловополиметаллическое месторождение начало работу в 1934 году. Так же на территории поселка функционировал Хапчерангинский горнообогатительный комбинат по переработке руд с месторождения, что привело к формированию значительной массы отходов производства 6,2 млн тонн, складированных в хвостохранилище площадью 56,7 га. Хвостохранилище в данном населенном пункте относится к кадмий-олово-сурьмяновисмут- мышьяково-свинцово-цинковому геохимическому типу [2]. Отходами гравитационно-флотационного процесса обогащения оловянной руды являются Sn, Pb, Zn, As.

Геохимический ряд жителей п. Хапчеранга:

$Fe_{22,5}-Cr_{13,9}-Hf_{11,1}-Th_{5,4}-Sc_{3,3}-Lu_{3,2}-Ag_{2,8}-Au_{2,6}-Co_{2,2}-Rb_{2,0}-U_{1,5}-As_{1,5}-Cs_{1,5}$

Сравнительный анализ элементного состава хвостохранилищ и волос жителей пяти населенных пунктов Забайкальского края выявил определенную взаимосвязь между производственной спецификой предприятий и аккумулируемыми в волосах химическими элементами. Наиболее ярко эта взаимосвязь проявилась для таких характерных элементов-загрязнителей, как серебро, мышьяк и золото, коэффициенты концентрации которых в волосах достигали экстремально высоких значений в некоторых населенных пунктах.

Показательно, что волосы фиксируют не только общий уровень загрязнения, но и сохраняют уникальный элементный отпечаток каждого конкретного производства - от золото-мышьякового в Вершино-Дарасунском до оловополиметаллического в Хапчеранге. При этом отмечается избирательное накопление именно тех элементов, которые обладают наибольшей биологической активностью и токсичностью, даже при их относительно невысоком содержании в отходах.

Некоторые наблюдаемые расхождения в элементных профилях хвостохранилищ и волос объясняются комплексом факторов, включая разную биодоступность элементов, временной промежуток после прекращения работы предприятий, а также особенности путей поступления загрязнителей в организм человека. Тем не менее, использование волос в качестве биоиндикатора антропогенного воздействия демонстрирует чувствительность к приоритетным загрязнителям, что делает его незаменимым инструментом для оценки хронического воздействия смешанных техногенных загрязнений.

*Исследование поддержано грантом Программы стратегического академического лидерства ТПУ «Приоритет – 2030 – НИП – 060-198-2025».*

#### **Библиографический список**

1. Абрамов Б. Н., Цыренов Т. Г. Распределение рудных и редких элементов в природно-техногенных комплексах Акатуевского полиметаллического месторождения // Вестник ЗабГУ. – 2020. – № 2. – С. 6-13
2. Гигиеническая оценка содержания химических веществ в почве горнопромышленных районов Забайкальского края / Л. А. Михайлова, М. А. Солодухина, О. Г. Алексеева [и др.] // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 4. – С. 400-410.
3. Кочев Д. В., Шумилова Л. В. Применение спектральных водных индексов на хвостовом хозяйстве Дарасунского рудника по данным дистанционного зондирования Земли программы Landsat // Вестник ЗабГУ. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 45-60.
4. Мязин, В. П. Комплексная оценка техногенного загрязнения почв и продуктов питания тяжелыми металлами при размещении хвостохранилищ в Восточном Забайкалье / В. П. Мязин, С. И. Михайлютина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 9. – С. 164-170.
5. Юргенсон Г.А., Филенко Р.А., Смирнова О.К., Дорошкевич С.Г., Овсейчук В.А. Минералогическо-геохимические особенности техногенных почв хвостохранилища Нерчинского полиметаллического комбината

и его влияние на экологическое состояние окружающей среды // Материалы IV Всероссийского симпозиума «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование». – Чита, 2012. – С. 41-45.

**Микробные процессы в отходах вольфрамового месторождения Бом-Горхон:  
влияние температуры**

*Русанов И.И.<sup>1</sup>, Лукина А.П.<sup>2</sup>, Данилова Э.В.<sup>3</sup>, Карначук О.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт микробиологии им. С.Н.Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия, e-mail: [rusanov\\_igor@mail.ru](mailto:rusanov_igor@mail.ru)

<sup>2</sup>Томский государственный университет, Томск, Россия, e-mail: [olga.karnachuk@green.tsu.ru](mailto:olga.karnachuk@green.tsu.ru); [anastasiya-lukina-93@mail.ru](mailto:anastasiya-lukina-93@mail.ru)

<sup>3</sup>Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия, e-mail: [erzhena\\_danilova@mail.ru](mailto:erzhena_danilova@mail.ru)

**Ключевые слова:** биогеохимия, микробная сульфатредукция, темновая ассимиляция углекислоты, метаногенез.

**Microbial processes in the tungsten mine waste in Bom-Gorkhon:  
the effect of temperature**

*Rusanov I.I.<sup>1</sup>, Lukina A.P.<sup>2</sup>, Danilova E.V.<sup>3</sup>, Karnachuk O.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Winogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center of Biotechnology RAS, Moscow, Russia, e-mail: [rusanov\\_igor@mail.ru](mailto:rusanov_igor@mail.ru)

<sup>2</sup> Tomsk State University, Tomsk, Russia, [olga.karnachuk@green.tsu.ru](mailto:olga.karnachuk@green.tsu.ru); [anastasiya-lukina-93@mail.ru](mailto:anastasiya-lukina-93@mail.ru)

<sup>3</sup> Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, e-mail: [erzhena\\_danilova@mail.ru](mailto:erzhena_danilova@mail.ru)

**Keywords:** biogeochemistry, microbial sulfate reduction, dark carbon dioxide fixation, methanogenesis.

Добыча металлов связана с образованием большого количества отходов. Дробление и сепарация концентрата и породы со сниженным содержанием металлов является критической стадией добычи и образует большие количества мелкофракционных отходов, так называемые «хвосты». Микробные процессы связаны с важными биогеохимическими преобразованиями, прежде всего, остаточных сульфидов металлов в хвостах. Железо- и серу-окисляющие прокариоты снижают pH среды и переводят металлы в раствор, способствуя явлению, обозначаемому как «кислые шахтные дренажи» (КШД). Сульфатвосстанавливающие бактерии (СРБ) осуществляют обратный процесс - потребляют протоны, увеличивают pH и образуют вторичные сульфиды. Баланс этих двух процессов связан с самоочисткой КШД, а также может быть использован в технологических схемах очистки.

В докладе будут представлены ретроспективные данные изучения микробных процессов в ветландах, ассоциированных с хвостохранилищем добычи вольфрама на месторождении Бом-Горхон в Забайкалье. Активно развитые окислительные процессы приводят к существенному снижению pH воды и осадков ветландов (pH=2.37-2.67), расположенных в зоне хвостохранилища. Профилирование по гену 16S рРНК и метагеномный анализ показали, что аэробные железо- и серу-окисляющие *Acidiphilium*, *Ferrithrix*, *Ferrimicrobium*, *Leptospirillum* и *Acidithiobacillus* составляют более 60% микробного сообщества в воде. В то же время содержание анаэробных СРБ не превышало 0.1% даже в менее окисленных по сравнению с водой осадках ветландов. В то же время скорость процесса сульфатредукции, измеренная с радиоактивным сульфатом, в осадках достигала  $9.86 \pm 0.893 \text{ mmol SO}_4 \text{ см}^{-3} \text{ сутки}^{-1}$ , что составляет 111 мг S восст. л<sup>-1</sup>сутки<sup>-1</sup>. Таким образом за год за счет сульфатредукции образуется 40.7 г S восст. на литр, что может приводить к связыванию такого же количества железа в виде нерастворимого сульфида. Это значительная величина, учитывая, что концентрация сульфата в воде исследованных ветландов колеблется от 2.06 до 3.6 г/литр.

Неожиданно для биотопа в умеренном климате, в ветландах Бом-Горхона была обнаружена термофильная сульфатредукция, скорость которой при 60 °С составляла величины одного порядка со скоростью, измеренной при 20 °С, температурой *in situ* во время отбора проб. Были обнаружены спорообразующие термофилы, осуществляющие процесс. Температура в хвостохранилищах может значительно повышаться за счет протекания экзотермических реакций окисления сульфидов. Споры термофильных СРБ вероятно

попадают в хвосты за счет переноса с воздушными массами из геотермальных местообитаний. Термофильная сульфатредукция может участвовать в связывании ионов металлов в нерастворимые сульфиды в зонах с повышенной температурой.

Основным фактором, лимитирующим процесс сульфатредукции в КШД, служит концентрация органических соединений, являющихся донорами электрона для СРБ. Низкий рН и высокая концентрация металлов препятствуют высоким скоростям продукционного процесса. Однако, органические соединения могут быть образованы не только в процессе фотосинтеза, но и при автотрофной фиксации  $\text{CO}_2$  в процессе хемосинтеза, осуществляемом серу-окисляющими бактериями. Измерение темновой фиксации  $\text{CO}_2$  с радиоактивным карбонатом показало, что ее скорость достигала 24.7 мкг С/л/сутки. Таким образом в течение года в литре образуется до 9 мг органического углерода за счет процесса хемосинтеза.

Неожиданным явилось также обнаружение в осадках хвостохранилищ процесса гидрогенотрофного метанобразования. Ранее никто не рассматривал возможность активного метаногенеза в высоко окисленных хвостах добычи металлов. Скорость процесса метаногенеза достигала 353 нл  $\text{CH}_4$ /л/сутки, величины сравнимой со скоростью метаногенеза в анаэробных осадках ветландов. Процесс был обнаружен не только в осадках, но и воде ветландов. Аналогично сульфатредукции был обнаружен термофильный метаногенез при 60°C.

Исследование микробных процессов в воде и осадках хвостохранилища на месторождении Бом-Горхон в течение более десяти лет продемонстрировало активные процессы окисления и восстановления соединений серы, которые вносят вклад в геохимические характеристики КШД как при температуре *in situ*, так и в условиях повышенной температуры.

*Исследования поддержаны проектом РНФ № 24-14-00396.*

## Флора хвостохранилищ золотоизвлекательных фабрик Восточного Забайкалья

Макаров В.П.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, vm2853@mail.ru

**Аннотация.** Исследован флористический состав естественно сформировавшегося растительного покрова. Обнаружено 80 видов сосудистых растений, относящихся к 25 ботаническим семействам. Ведущими семействами по числу видов являлись: *Fabaceae* (14), *Poaceae* (12), *Asteraceae* (11), *Rosaceae* (8) и *Salicaceae* (6 видов). Из числа кустарников часто встречались и отличались хорошим развитием *Hippophae rhamnoides* L., *Salix miyabeana* Seemen. В травостое характеризовались хорошим жизненным состоянием растения из семейства *Fabaceae*: *Melilotus suaveolens* Ledeb., *M. albus* Medik., *Thermopsis lanceolata* R. Br. и др. Из растений семейства *Poaceae* в травостое чаще встречались *Elymus sibiricus* L., на увлажненных местах у водоемов – *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. В семействе *Asteraceae* характеризовались высоким проективным покрытием мощным развитием *Artemisia vulgaris* L., *A. scoparia* Waldst. & Kit.

**Ключевые слова:** Забайкалье, хвостохранилище, естественное зарастание, рекультивация.

## Flora of tailings dumps of gold extraction factories in Eastern Transbaikalia

V.P. Makarov

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, vm2853@mail.ru

**Abstract.** The floral composition of the naturally formed vegetation cover is investigated. 80 species of vascular plants belonging to 25 botanical families have been discovered. The leading families in terms of the number of species were *Fabaceae* (14), *Poaceae* (12), *Asteraceae* (11), *Rosaceae* (8) and *Salicaceae* (6 species). Among the shrubs, *Hippophae rhamnoides* L., *Salix miyabeana* Seemen were often found and were well developed. In the herbage, plants from the *Fabaceae* family were characterized by a good vital condition: *Melilotus suaveolens* Ledeb., *M. albus* Medik., *Thermopsis lanceolata* R. Br., etc. Of the plants of the *Poaceae* family, *Elymus sibiricus* L. were more common in the herbage, and *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud were found in moistened areas near reservoirs. In the *Asteraceae* family, they were characterized by a high projective cover and a powerful development of *Artemisia vulgaris* L., *A. scoparia* Waldst. & Kit.

**Keywords:** Transbaikalia, tailings storage, natural overgrowth, reclamation.

Горнодобывающая промышленность является ведущей отраслью экономики Забайкальского края. В результате добычи золота и других металлов образуются хвостохранилища, которые длительное время являются источником загрязнения токсичными химическими элементами окружающей среды. Для снижения вредного воздействия хвостохранилищ на окружающую среду необходима их консервация. Одним из этапов консервации хвостохранилищ является биологическая рекультивация путем посадки и посева растений.

В России и зарубежных странах исследовано множество растений пригодных для биологической рекультивации [1-5]. В каждом регионе имеются особенности флористического состава дикорастущих видов, заселяющих нарушенные земли, и соответственно свой рекомендованный перечень видов растений для рекультивации. Общим является то, что преимущество в рекультивации отдается злаковым и бобовым травам, а из кустарников часто облепихе крушиновидной и лоху серебристому, акации белой - растениям способным благодаря симбиотическим отношениям с клубеньковыми бактериями или грибами поглощать атмосферный азот.

В Забайкальском крае опыта консервации хвостохранилищ не имеется. Происходит их естественное зарастание дикорастущими видами растений. С 30-х годов прошлого столетия в крае были созданы и районированы сорта злаковых и бобовых трав однако их использование в настоящее время затруднено вследствие прекращения в крае работ по их семеноводству. Применение многолетних трав из других регионов страны приводили, как показали опыты, часто к отрицательным результатам ввиду их низкой приспособленности к особенностям экологическим условиям региона.

Поэтому важно установить виды растений, которые способны успешно произрастать в условиях аномально высокого содержания в грунте хвостохранилищ ряда токсичных для растений химических элементов и низкого, как правило, содержания азота в грунте. Цель

настоящего исследования – установить из числа дикорастущих растений, случайно занесенных на хвостохранилища, наиболее устойчивые к экстремальным условиям хвостохранилищ виды.

### Объекты и методика работы

Исследования флоры проведены на территории хвостохранилищ Дарасунского, Балейского, Тасеевского и Любавинского месторождений золота в 2007, 2022 и 2023 годах (табл.1).

Таблица 1. Характеристика пробных площадей

№ пробной площади	Название хвостохранилища	Год исследований	Координаты, °	Абсолютная высота, м	Местоположение на хвостохранилище	Общее проективное покрытие растений, %	Проективное покрытие травостоя, %
1	Дарасунское	2023	52.35509 115.57670	740	дно	70–80	50–60
2	Дарасунское	2023	52.33171 115.62442	703	дно	90–100	70–80
3	Дарасунское	2023	52.31026 115.65759	688	дно	40–50	40–50
4	Дарасунское	2022	52.35226 115.58205	728	у водоема	20–70	10-20
5	Дарасунское	2022	52.34953 115.58952	730	дно	30–80	10–80
6	Дарасунское	2022	52.34846 115.58744	730	борт	70–80	20–30
7	Балейское	2022	51.56583 116.61447	730	борт	70–80	20–30
8	Балейское	2022	51.56447 116.61802	591	дно	50–80	5–10
9	Балейское	2022	51.56483 116.62298	586	у водоема	80–100	90–100
10	Балейское	2022	51.56247 116.61862	587	дно	80–90	5–10
11	Балейское	2007	51.562056 116.616528	583	дно	30–40	5–10
12	Тасеевское	2007	51.548778 116.643222	617	дно	30–40	5–10
13	Тасеевское	2007	51.554556 116.64025	586	борт	50–60	5–10
14	Любавинское	2022	49.63180 112.15317	1140	дно	60–70	60–70

Площадь пробных площадей для учета флористического состава составляла от 600 до 2500 м<sup>2</sup>. Определяли проективное покрытие, встречаемость и жизненное состояние растений.

### Результаты и обсуждение

В результате исследований в пределах хвостохранилищ обнаружено 80 видов сосудистых растений, относящихся к 25 ботаническим семействам. Ведущими семействами по числу видов являлись: *Fabaceae* (14), *Poaceae* (12) и *Asteraceae* (11), *Rosaceae* (8) и *Salicaceae* (6 видов) (рис. 1).

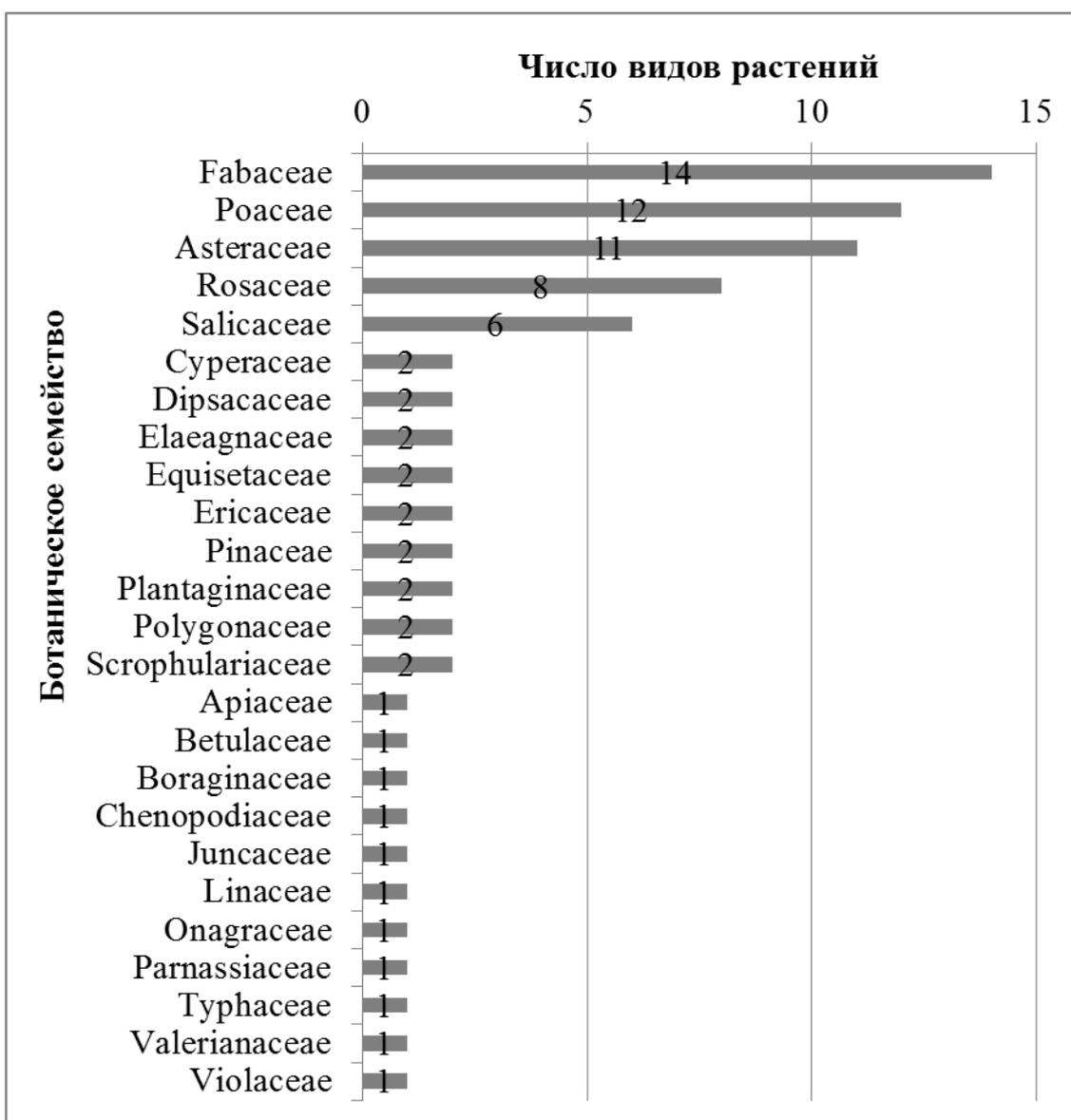


Рисунок 1. Число видов растений ботанических семейств.

*Деревья.* В число деревьев входили: береза повислая (*Betula pendula* Roth), лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), чозения толокнянколистная (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A.K. Skvortsov) и тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch.). Относительно высокой встречаемостью характеризовались береза повислая и лиственница Гмелина (55%), реже встречалась сосна обыкновенная и тополь душистый (45%). Только на дамбе Тасеевского хвостохранилища встречалась чозения толокнянколистная. Средняя высота деревьев составляла от 4 до 12 м. На бортах (дамбе) хвостохранилища большим проективным покрытием и высотой характеризовались сосна обыкновенная, лиственница Гмелина и береза повислая, а тополь душистый – на пологих участках. Проективное покрытие деревьев находилось в пределах от 5 до 50%.

*Подрост деревьев* (средняя высота 0,5–1,0 м) включал выше упомянутые растения, а также осину обыкновенную (*Populus tremula* L.). Встречаемость подроста была аналогичной взрослым растениям, кроме осины обыкновенной (9%). Произрастание подроста деревьев отмечено преимущественно на пологих участках хвостохранилища. Проективное покрытие подроста березы повислой и лиственницы Гмелина на одном из участков было менее 5%, а на других площадях и других деревьев – единично.

*Кустарники.* Кустарники на хвостохранилищах представлены следующими видами: ива Бебба (*Salix bebbiana* Sarg.), ива Миябе (*Salix miyabeana* Seemen), ива Шверина (*Salix*

*schwerinii* E.L. Wolf), облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.), пятилистник мелколистный (*Dasiphora parvifolia* (Fisch.) Juz.), рябинник рябинолистный (*Sorbaria vudisorbifolia* (L.) A. Braun) и яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.). Средняя высота кустарников достигала 4 м. Облепиха крушиновидная и ива Миябе характеризовались наибольшей встречаемостью, соответственно 64 и 55%. Проективное покрытие растений облепихи крушиновидной находилось на участках хвостохранилищ от менее 5 до 80%, ивы Миябе – от 5 до 50%. Встречаемость других кустарников оценивалась в пределах 9–18%. Облепиха крушиновидная произрастает на склоне дамбы и дне хвостохранилища. Ива Миябе – преимущественно на пониженных участках хвостохранилища. Состояние облепихи крушиновидной и ивы Миябе характеризуется высоким жизненным уровнем. Растения хорошо развивались, успешно и обильно плодоносили, имели яркую, сочную листву. Признаков угнетения и заболевания не наблюдалось.

**Травянистые растения.** Семейство *Fabaceae* включало 14 видов растений. Относительно высокой встречаемостью отличались астрагал приподнимающийся (*Astragalus adsurgens* Pall.) и донник ароматный (*Melilotus suaveolens* Ledeb.), соответственно 64 и 55%. Значительное проективное покрытие донника (25–50%) отмечено на территории хвостохранилища Дарасунской золотоизвлекательной фабрики. На хвостохранилищах Балейской и Любавинской фабрик донник ароматный встречался единично. Донник ароматный произрастает часто совместно с донником белым (*Melilotus albus* Medik.). Встречаются в травостое и гибридные особи донника, судя по окраске цветков. Средняя высота растений была около 70–80 см, отмечено обильное плодоношение и многочисленные всходы. Относительно часто (36%) встречались на хвостохранилищах клевер ползучий (*Trifolium repens* L.), донник белый (*Melilotus albus* Medik.) Проективное покрытие видов обычно не более 5%. Низкой встречаемостью (9–27%) характеризуются другие бобовые травы: горошек приятный (*Vicia amoena* Fisch.), астрагал болотный (*Astragalus uliginosus* L.), астрагал даурский (*Astragalus davuricus* (Pall.) DC.), астрагал приподнимающийся (*Astragalus adsurgens* Pall.), клевер люпиновидный (*Trifolium lupinaster* L.), остролодочник тысячелистный (*Oxytropis myriophylla* (Pall.) DC.), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), люцерна желтая (*Medicago falcata* L.), мелилотоидес русский (*Melilotoides ruthenica* (L.) Soják), остролодочник дерновинный (*Oxytropis caespitosa* (Pall.) Pers.). Высоким проективным покрытием (50–70%) в травостое на Любавинском хвостохранилище отличался термопсис ланцетный (*Thermopsis lanceolata* R. Br.). Он образовывал обширные куртины диаметров около 5–7 м на песчано-щебнистом крунте. Астрагалы болотный и приподнимающийся отличались необычно мощным развитием.

Семейство злаковые (*Poaceae*) включало 12 видов растений: бекмания восточная (*Beckmannia syzigachne* (Steud.) Fernald), бескильница тонкоцветковая (*Puccinellia tenuiflora* (Griseb.) Scribn. & Merr.), колосняк китайский (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev), зубровка душистая (*Hierochloa odorata* (L.) P. Beauv.), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.), овсяница Литвинова (*Festuca litvinovii* (Tzvelev) E.V. Alexeev), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), пырейник даурский (*Elymus dahuricus* Turcz. ex Griseb.), пырейник сибирский (*Elymus sibiricus* L.), тонконог крупноцветковый (*Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult.), тростник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) и ячмень остистый (*Hordeum jubatum* L.).

Наибольшей встречаемостью характеризовались пырейник сибирский и тонконог крупноцветковый, соответственно 55 и 36%. Проективное покрытие растений большинства злаковых трав было менее 5%. Исключением являлся тростник южный, произрастающий в прибрежной части водоемов на территории хвостохранилищ. Его проективное покрытие достигало 80–90%.

Семейство астровые (*Asteraceae*) включало 11 видов растений: бодяк съедобный (*Cirsium esculentum* (Siev.) C.A. Mey.), большеголовник одноцветковый (*Stemmacantha uniflora* (L.) Dittrich), девясил британский (*Inula britannica* L.), иксеридиум злаковидный (*Ixeridium gramineum* (Fisch.) Tzvelev), одуванчик рогатый (*Taraxacum ceratophorum* (Ledeb.) DC.), осот

полевой (*Sonchus arvensis* L.), полыни Гмелина (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm.), веничная (*Artemisia scoparia* Waldst. & Kit.), монгольская (*Artemisia mongolica* (Besser) Fisch. ex Nakai), обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.) и соснурья горькая (*Saussurea amara* (L.) DC.)

Наибольшей встречаемостью характеризовались полынь обыкновенная на Дарасунском хвостохранилище (45%), а также полыни Гмелина, веничная, монгольская, одуванчик рогатый и осот полевой (36%). У других растений встречаемость была 9%. Полыни обыкновенная и веничная отличались более высоким проективным покрытием на отдельных участках (до 50–70%). Высокое обилие в травостое полыней было на бортах и дне хвостохранилищ.

Семейство *Rosaceae* включало из травянистых растений 5 видов: гравилат алеппский (*Geum aleppicum* Jacq.), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina* L.), вильчатая (*Potentilla bifurca* L.), низкая (*Potentilla supina* L.), земляника восточная (*Fragaria orientalis* Losinsk.). Более часто (55%) встречалась лапчатка гусиная. Проективное покрытие растения было обычно небольшое – до 5%, кроме Любавинского хвостохранилища, на котором участие в травостое составляло до 25%.

Из травянистых растений других семейств частотой встречаемости (45%) отличались подорожник прижатый (*Plantago depressa* Willd.) и хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), а также иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), патриния скальная (*Patrinia rupestris* (Pall.) Duff.) (27%). Следующие растения характеризовались низкой частотой встречаемости (9-18%). Проективное покрытие растений в травостое не превышало 5%.

Исключение - аксирис щирицевидный (*Axyris amaranthoides* L.) он отличался от представленных в таблице растений более высоким проективным покрытием (30–40%) в сообществе с полынью обыкновенной на Дарасунском хвостохранилище.

#### **Заключение**

Таким образом, устойчивыми в условиях хвостохранилищ и перспективными видами растений для биологической рекультивации являются из древесных растений: ива Миябе и облепиха крушиновидная; из травянистых растения из семейства Бобовые – донники ароматный и белый, астрагалы приподнимающийся и болотный, возможно люцерна желтая и термопсис ланцетный. Низкая встречаемость и проективное покрытие люцерны на территории хвостохранилищ объясняются, вероятно, редким участием в сложении естественных растительных сообществ в районе г. Балей и поэтому слабым заносом семян. На перспективу использования люцерны указывает ее хорошее развитие и жизненное состояние. Из злаковых трав устойчивыми и перспективными в посеве на хвостохранилище могут быть пырейник сибирский и тростник южный (на увлажненных участках). Из других семейств хорошие результаты могут показать полынь обыкновенная и лапчатка гусиная. Растения размножаются семенами и вегетативно.

Для консервации (рекультивации) хвостохранилищ в Забайкалье необходимо иметь семена и посадочный материал перспективных растений местного происхождения, как наиболее приспособленных к окружающей среде региона. Поэтому в проекты консервации хвостохранилищ необходимо включать создание предприятий по размножению растений и семеноводству. В настоящее время таких предприятий в регионе нет.

#### **Библиографический список**

1. Алиев И.Н., Хамарова З.Х. Восстановление древесной растительности на отвалах месторождений полезных ископаемых на территории Кабардино-Балкарии // Растительные ресурсы. 2019. № 55(1). С. 102–112.
2. Миронова С.И., Гаврильева Л.Д., Кудинова З.А., Петров А.А. Опыт биологической рекультивации на хвостохранилищах Западной Якутии // Успехи современного естествознания. 2015. № 12. С. 72–76.
3. Сариев А.Х., Чербакова Н.Н., Терентьева Н.Ю. Оценка возможности биологической рекультивации хвостохранилищ на Енисейском Севере // Экология и промышленность России. 2021. № 25(5). С. 39–45.
4. Тимофеева Ю. Р., Степанова Е. А., Богданов В. Л. Биологическая рекультивация нарушенных земель горно-промышленным комплексом (на примере ОАО «Апатит») // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 42. С. 294–299.
5. Chen F., Ya Q., & Tian J. 2016. Review of ecological restoration technology for mine tailings in China // Engineering Review. No. 36(2). pp. 115–121. <https://hrcak.srce.hr/file/229001>

**Химический состав почв геотехногенных ландшафтов золоторудного месторождения  
Пионер (Приамурье)**

*Радомская В.И.<sup>1</sup>, Ляпунов М.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск, Россия, [radomskaya@ascnet.ru](mailto:radomskaya@ascnet.ru)

<sup>2</sup>Филиал ООО «Атлас Майнинг» в г. Благовещенске, г. Благовещенск, Россия, [mik.8133@gmail.com](mailto:mik.8133@gmail.com)

**Аннотация** Приведены результаты геохимических исследований состояния почв и техногенных грунтов на территории обрабатываемого крупного золоторудного месторождения Пионер в Амурской области. На основании коэффициентов концентрации для почвенно-грунтового покрова территории месторождения Пионер определены элементы-загрязнители, преобладающим загрязнителем является мышьяк.

**Ключевые слова:** почвы, грунты, загрязнение, коэффициент концентрации

**Chemical composition of soils of geotechnogenic landscapes of the Pioneer gold deposit (Amur Region)**

*Radomskaya V.I.<sup>1</sup>, Lyapunov M.Yu.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, Russia, [radomskaya@ascnet.ru](mailto:radomskaya@ascnet.ru)

<sup>2</sup>Branch of Atlas Mining LLC in Blagoveshchensk, Blagoveshchensk, Russia, [mik.8133@gmail.com](mailto:mik.8133@gmail.com)

**Abstract** The article presents the results of geochemical studies of the state of soils and technogenic grounds on the territory of the large gold deposit Pioneer in the Amur Region. Based on the concentration coefficients for the soil and ground cover of the Pioneer deposit territory, pollutant elements have been identified, the predominant pollutant being arsenic.

**Keywords:** soils, grounds, pollution, concentration coefficient

Появление тяжелых металлов (ТМ) в почвенном покрове обусловлено двумя основными факторами: геогенным и антропогенным. Антропогенные ТМ накапливаются в почве в результате производственной деятельности человека, в том числе за счет горнодобывающей промышленности. Амурская область по объемам добычи золота занимает лидирующие позиции в РФ, что является весьма серьезным фактором негативного влияния на природную среду. Горнодобывающее предприятие АО «Покровский рудник» является одной из значимых компаний по добыче золота в данном регионе. Оно начало отработку золоторудного месторождения Пионер в 2004 г. Рудное поле месторождения Пионер относится к правобережью бассейна р. Улунги. Рельеф территории определяется приуроченностью к северо-западной части Амуро-Зейского плоскогорья, характеризующегося холмисто-увалистой формой поверхности с выровненными водоразделами и широкими речными долинами. Гидрографическую сеть территории формируют реки Уркан, Улунга, Тыгда и их многочисленные притоки, принадлежащие правобережной части бассейна р. Зeya. По характеру водного режима водотокам присуще в основном дождевое питание. Территория месторождения относится к зоне умеренного и малого стока.

Региональные условия определяют сохранение в районе золоторудного месторождения Пионер прерывистой многолетней мерзлоты. «Пятна» мерзлоты приурочены, в основном, к днищам долин. На данной территории под лиственнично-березовым лесом распространены зональные буро-таежные почвы. По долинам рек, падам, на водораздельных плато распространены болотные (торфяные, торфяно-глеевые, торфянисто-глеевые) почвы. Подстилающими породами для этих почв являются современные аллювиальные отложения, делювиальные глины и суглинки. Для буро-таежных почв характерна слабая дифференцированность профиля, невысокая мощность гумусового горизонта. Болотные почвы характеризуются наличием значительного торфянистого слоя с признаками оглеения [1].

Первоначально добыча золота велась открытым способом, а с 2008 г. переработка осуществлялась по схеме: добыча руды – дробление – дезинтеграция – кучное

выщелачивание – сорбционное цианирование – регенерация насыщенной смолы – электролиз. К настоящему времени на территории месторождения Пионер сформировался техногенный рельеф с антропогенно измененным почвенно-грунтовым покровом (дороги, промышленные площадки, карьерные выемки, отвалы и хранилища отработанной породы). Но нарушение почвенного ландшафта началось еще до промышленного освоения месторождения Пионер в результате отработки россыпей старателями и артелями. Техногенно преобразованный почвенный покров представлен в основном смесью дресвянощепнистого грунта с суглинистым заполнителем, природные почвы в пределах горного отвода присутствуют локально.

Отбор проб почв и грунтов проводили в зоне деятельности предприятия. Были обследованы техногенные зоны, это районы отвалов пустой породы (точки отбора 1, 2, 7); карьеров (5, 6, 9, 22/1); отвалов давней россыпной золотодобычи (3, 11, 19); хвостохранилища (12), водохранилища (13), участок кучного выщелачивания (15, 16, 17). Были отобраны пробы в зоне природного ландшафта (1, 4, 8, 14, 18, 22/2, 23). Пробные площадки с точками отбора 24-28 использовали в качестве условно фоновых, вследствие удаленности территории от горноперерабатывающего предприятия и отсутствия других источников антропогенного воздействия (рис. 1). Опробование проводили на глубину до 10 см. Было отобрано 32 пробы почвы и грунтов массой до 1 кг

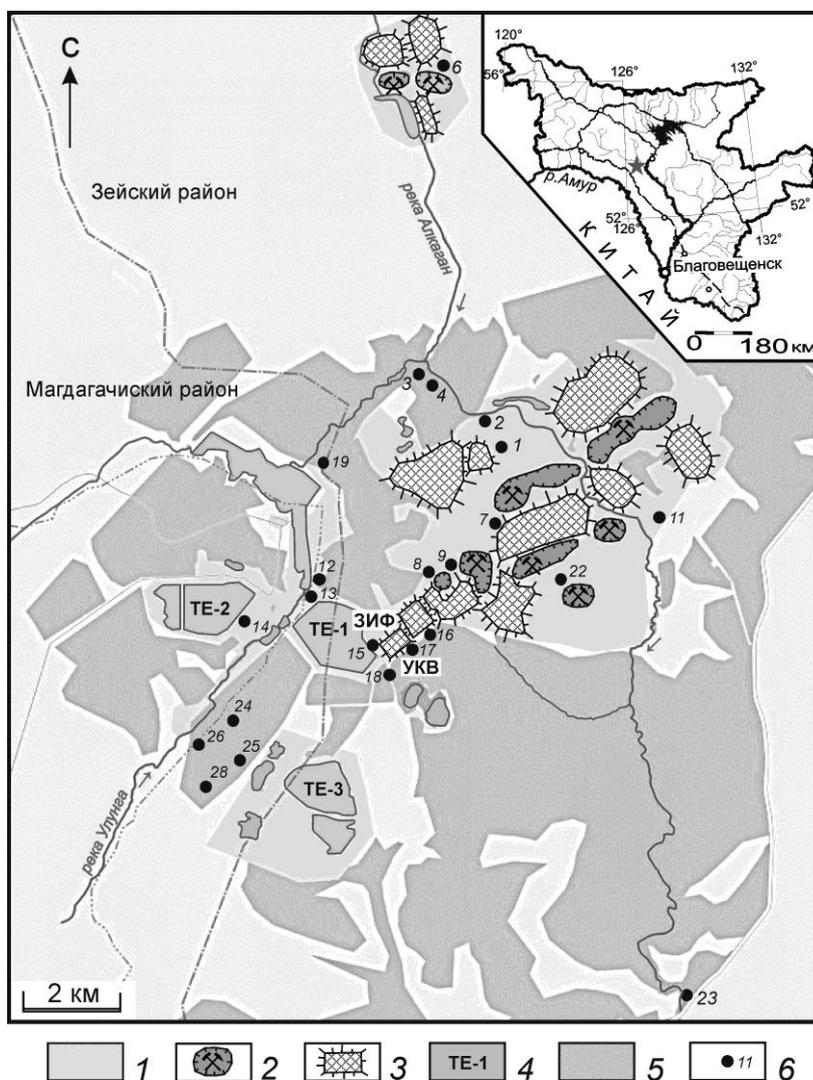


Рисунок 1. Картограмма исследуемого района отработки месторождения Пионер (1 – промышленные площадки; 2 – карьеры; 3 – рекультивированные отвалы, склады балансовой и забалансовой руды; 4 – технологические емкости ТЕ-1, 2 и 3, пруды накопители; 5 – лес; 6 – точки отбора проб почвы, грунтов и их номера; точки отбора растений; ЗИФ – золотоизвлекательная фабрика; УКВ – участок кучного выщелачивания).

Определение элементного состава почв, грунтов проводили атомно-эмиссионным («iCAP-6500», «Thermo Scientific», США) и масс-спектральным («X-7», «Thermo Elemental», США) методами в ИПТМ РАН (г. Черноголовка).

По полученным данным рассчитали коэффициент концентрации ( $K_c$ ) – отношение средней концентрации элемента в почве к его фоновому содержанию. Статистическую обработку проводили с помощью программы Statistica 10.

Добыча полезных ископаемых приводит к выносу тяжелых металлов и металлоидов из глубины недр на поверхность, к миграции элементов в окружающей среде и к повышению их концентраций в локальных районах. Элементный состав отобранных почв и техногенных грунтов приведен в таблице.

Таблица 1. Элементный состав почвенно-грунтового покрова территории золоторудного месторождения Пионер, с  $Na_2O$  по  $Fe_2O_3$  в %, остальные элементы – мг/кг

Комп онент	m	$X_{med}$	min	max	S	A	E	V	Кларк [4]	Фон	$\frac{m}{\text{кларк}}$	$K_c$
Na <sub>2</sub> O	1,61	1,56	0,16	3,06	0,92	0,04	-1,22	57	3,27	1,55	0,5	1
MgO	1,06	0,90	0,37	2,94	0,67	1,74	2,41	63	2,48	0,79	0,4	1,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,8	14,7	11,7	17,6	1,62	-0,15	-0,95	11	15,4	11,5	1,0	1,3
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,10	0,015	0,29	0,07	0,94	0,53	58	0,15	0,21	0,8	0,5
S	0,43	0,05	0,003	4,68	1,00	3,68	15,1	231	0,062	0,03	7,0	12,8
K <sub>2</sub> O	3,49	3,27	1,32	5,84	1,02	0,29	-0,14	29	2,8	1,84	1,3	1,9
CaO	0,95	0,50	0,089	3,24	0,85	1,25	0,82	90	3,59	0,59	0,3	1,6
TiO <sub>2</sub>	0,50	0,53	0,14	0,71	0,13	-1,27	1,90	26	0,64	0,66	0,8	0,8
MnO	0,11	0,06	0,005	0,70	0,15	2,87	8,93	137	0,1	0,8	1,1	0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,41	4,75	1,55	7,68	1,44	-0,38	0,30	33	5,6	3,24	0,8	1,4
Li	34,6	31,0	11,3	69,5	16,4	0,75	-0,01	47	21	21,5	1,7	1,6
Be	2,07	1,97	1,29	3,09	0,51	0,39	-0,41	25	2,1	1,64	1,0	1,3
Sc	8,07	8,39	2,91	12,1	2,49	-0,54	-0,19	31	14	6,79	0,6	1,2
V	74,7	81,2	27,9	103	21,8	-0,89	-0,09	29	97	88,5	0,8	0,8
Cr	86,8	73,1	19,7	233	54,1	0,95	0,33	62	92	72,4	0,9	1,2
Co	11,9	10,4	1,2	42,4	7,68	2,52	8,92	65	17,3	20	0,7	0,6
Ni	24,7	23,7	8,05	60,9	12,4	1,24	2,08	50	47	35,5	0,5	0,7
Cu	49,1	37,1	8,17	231	45,6	2,62	8,96	93	28	28,4	1,8	1,7
Zn	75,0	67,0	23,3	182	37,7	1,05	0,98	50	87	80,4	0,9	0,9
Ga	15,1	14,8	10,0	19,3	2,43	-0,26	-0,33	16	17,5	12,1	0,9	1,2
As	135	87,0	9,11	437	127	1,05	-0,03	94	4,8	24,6	28,0	5,5
Rb	131	122	58,2	218	42,9	0,49	-0,54	33	84	113	1,6	1,2
Sr	234	221	72,8	456	108	0,66	-0,43	46	320	195	0,7	1,2
Y	14,3	14,2	4,89	23,7	5,27	-0,04	-1,02	37	21	27,5	0,7	0,5
Zr	78,6	68,5	21,2	236	46,2	1,81	4,14	59	193	206	0,4	0,4
Nb	7,58	7,74	2,23	13,3	2,34	0,03	0,71	31	12	13,4	0,6	0,6
Mo	7,45	4,39	0,47	37,5	8,54	2,16	5,81	115	1,1	1,35	6,8	5,5
Cd	0,19	0,08	0,03	0,61	0,21	1,05	-0,41	109	0,09	0,06	2,1	3,2
Sn	2,28	2,35	0,72	4,25	0,76	0,09	1,35	33	2,1	2,15	1,1	1,1
Sb	24,9	11,2	1,23	111	29,5	1,55	1,79	119	0,4	139	62,1	17,9
Te	0,58	0,48	0,035	1,78	0,54	0,95	-0,16	92	-	0,04	-	16,7
Cs	8,25	7,33	1,37	39,6	7,13	3,93	17,8	86	4,9	5,68	1,7	1,5
Ba	707	671	424	1406	220	1,68	3,55	31	624	997	1,1	0,7
Σ PЗЭ	117	126	44,7	164	31,8	-0,53	-0,48	27	148	137	0,8	0,9
Hf	2,07	2,07	0,73	3,79	0,64	0,07	1,70	31	5,3	2,36	0,4	0,9

Ta	0,60	0,60	0,23	1,06	0,19	0,22	0,57	31	0,9	0,76	0,7	0,8
W	6,69	4,76	0,62	38,3	7,74	3,22	12,4	116	1,9	2,14	3,5	3,1
Tl	1,66	1,30	0,34	3,27	0,97	0,41	-1,39	58	0,9	0,63	1,8	2,6
Pb	47,2	41,6	12,9	149	28,4	1,89	5,12	60	17	19	2,8	2,5
Bi	1,02	0,69	0,072	6,64	1,28	3,91	17,3	126	0,16	0,27	6,4	3,8
Th	8,71	9,61	2,71	12,0	2,48	-1,01	0,42	29	10,5	7,84	0,8	1,1
U	2,22	2,37	0,68	3,32	0,68	-0,86	0,49	30	2,7	1,86	0,8	1,2

Примечания. «-» – нет данных; m – среднее арифметическое значение по 32 пробам; Xmed – медиана; min – минимум; max – максимум; S – стандартное отклонение; A – коэффициент асимметрии; E – коэффициент эксцесса; V – коэффициент вариации;  $\Sigma$  PЗЭ – сумма редкоземельных элементов.

В сравнении с верхней континентальной корой более высокие содержания элементов характерны для S, K, Mn, Li, Cu, As, Mo, Sb, Cs, W, Pb, Bi, Cd, Rb, Ba, Sn и Tl, для которых кларк концентраций (m/кларк) варьировал от 1,1 до 62,1. Максимальные кларки концентраций установлены для Sb – 62,1 и As – 28; повышенное содержание этих элементов может быть обусловлено как естественным природным обогащением, так и антропогенной деятельностью человека. Среднее содержание остальных элементов характеризуется дефицитом.

Как видно из данных таблицы, валовые концентрации Sb в почве и почвогрунтах варьировали от 1,23 мг/кг до 111 мг/кг, при этом наибольшее содержание наблюдалось в почвах, расположенных в районе Николаевского карьера, вблизи мест расположения отходов горноперерабатывающего комплекса, в частности, с подветренной стороны от хвостохранилища. Следует отметить, что первичные руды законсервированного Николаевского карьера имеют самые высокие содержания мышьяка и сурьмы из всех рудных ассоциаций на месторождении Пионер, так как эти руды относятся к золото-сульфосольно-антимонитовой ассоциации [2]. Около 72% отобранных проб имели превышение ПДК по сурьме (4,5 мг/кг). Пространственное распределение сурьмы сильно колебалось, коэффициент вариации составлял 119; содержание сурьмы в районе исследования превышало фоновые значения до 79 раз.

Валовые концентрации As были также высокие и варьировали от 9,1 до 437 мг/кг почвы. В исследуемом районе, несмотря на высокое фоновое содержание мышьяка (24,6 мг/кг), в большинстве точек отмечена существенно более высокая концентрация As. Санитарными правилами (СанПиН 1.2.3685-21) нормируется содержание в объектах окружающей среды ряда опасных химических элементов, среди которых As считается одним из высокотоксичных, канцерогенных элементов для человека и относится к 1 классу опасности наравне с Cd, Pb и Zn. Сурьма обладает сходным с мышьяком, но более слабым общетоксическим действием и относится ко 2 классу опасности, также как Cu и Ni. К 3 классу опасности (вещества малоопасные) принадлежат V и Mn.

Для загрязняющих элементов был рассчитан коэффициент концентрации ( $K_c$ ). Согласно градации значение  $K_c < 1$  означает отсутствие загрязнения,  $1 < K_c < 2$  – низкое загрязнение,  $2 < K_c < 3$  – умеренное,  $3 < K_c < 5$  – сильное,  $K_c > 5$  очень сильное [3]. Коэффициент концентрации больше 3 в почвенно-грунтовой покрове исследуемой территории установлен для S (12,8), As (5,5), Mo (3,5), Cd (3,2), Sb (17,9), Te (16,7), Bi (3,8) и W (3,1).

Согласно полученным значениям коэффициентов концентрации и с учетом класса опасности тяжелых металлов выделены элементы-загрязнители: S, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sb, Te, W, Pb, Bi, требующие более пристального внимания на данной территории. Преобладающим загрязнителем на территории горнодобывающего предприятия АО «Покровский рудник» является мышьяк.

#### Библиографический список

1. Терентьев А.Т. Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование.// Владивосток: Дальневосточное книжное издательство, 1969. 262 с.

2. Радомская В.И., Павлова Л.М., Моисеенко Н.В., Ляпунов М.Ю., Юсупов Д.В. Оценка геохимического состава почвенно-грунтового покрова техногенно измененной территории золоторудного месторождения Пионер (Верхнее Приамурье) // Геохимия. 2025. № 2. С. 58-78.
3. Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review. *Environmental Geochemistry Health*. 2018. Vol. 40. P. 2395-2420.
4. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*. 2014. P. 1–51.

**Геохимические особенности степных почв Торейской котловины  
(Юго-Восточное Забайкалье)**

*Вишнякова О.В., Убугунов Л.Л.*

ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, Россия,  
[ok\\_vish@mail.ru](mailto:ok_vish@mail.ru)

**Аннотация.** Исследован элементный состав зональных степных почв Торейской котловины (Юго-Восточное Забайкалье). В светло-гумусовых почвах, сформированных на базальтах, сланцах и травертинах основного ряда, существенно повышены средние концентрации Ca, Na, As, Mn, Sr, по сравнению с кларком почв мира. Педогенная трансформация горных пород приводит к накоплению As, Ca, Pb, Li в мелкозем степных почв, подстилаемых базальтами.

**Ключевые слова:** *степи, светло-гумусовые почвы, элементный анализ*

**Geochemical features of steppe soils of the Torey Depression  
(South-Eastern Transbaikalia)**

*Vishnyakova O.V., Ubugunov L.L.*

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia, [ok\\_vish@mail.ru](mailto:ok_vish@mail.ru)

**Abstract.** The elemental composition of zonal steppe soils of the Torey Depression (South-Eastern Transbaikalia) was studied. In light-humus soils formed on basalts, shales and travertines of the basic type, the average concentrations of Ca, Na, As, Mn, Sr are significantly increased, compared to the clarke of soils. Pedogenic transformation leads to the accumulation of As, Ca, Pb, Li in the fine earth of steppe soils underlain by basalts.

**Keywords:** *steppes, light-humus soil, elemental analysis*

Экосистемы Государственного природного биосферного заповедника «Даурский», расположенного в Юго-Восточном Забайкалье, являются уникальным центром биологического разнообразия, основу которого составляют пульсирующие засоленные озера Торейской котловины [1]. Территория характеризуется сложным литологическим строением с признаками палео-вулканической активности, разнообразием горных пород, представленных базальтами, сланцами и травертинами основного ряда. В растительном покрове преобладают ковыльные, разнотравные, вострецовые степи и их различные сочетания, под которыми формируются маломощные сильно-щебнистые светлогумусовые почвы. Ландшафтное и внутрипрофильное перераспределение элементов в результате физического и химического выветривания пород, латерального переноса, гидрогенной, биогенной и барьерной аккумуляции имеет важнейшее экологическое значение в природных экосистемах, обеспечивая их устойчивое функционирование. Поэтому целью исследования было изучение геохимических особенностей зональных почв Торейской котловины, как базового компонента степных экосистем Даурского биосферного заповедника, для понимания происходящих процессов и оценки их динамики.

В пределах межозерного базальтового вала и других автоморфных позиций было заложено 8 ключевых и несколько дополнительных почвенных разрезов. Наряду с общей физико-химической характеристикой почв, получены данные по геохимическому профилю, включая содержание 27 почвообразующих элементов, рассчитаны коэффициенты концентрации и рассеяния элементов по отношению к литосфере и почвам мира [2] (табл. 1). Валовое содержание элементов определялось атомно-эмиссионным методом с ICP на спектрометре Spectroarcos в аккредитованной испытательной лаборатории «Республиканского аналитического центра» (г. Улан-Удэ) после разложения образцов смесью кислот.

Исследуемые почвы характеризуются слабо-щелочной реакцией среды (pH 7,6-8,4), сильной щебнистостью и супесчаным гранулометрическим составом мелкозема, низким или средним содержанием органического углерода (0,86-2,85%), значительным количеством карбонатов и отсутствием засоления. Морфометрическая характеристика профиля и физико-химические свойства степных почв свидетельствуют о современных процессах светлогумусовой аккумуляции и окарбончивания, отсутствии илистой дифференциации профиля и

признаков метаморфизма. Органическое вещество почв обладает очень высокой сорбционной способностью, поэтому гумусовые горизонты отличаются выраженной аккумуляцией биогенных элементов в результате их избирательного поглощения растениями и закрепления *in situ*. В светло-гумусовых горизонтах исследуемых почв отчетливо выражено накопление макроэлементов, таких как сера, фосфор, калий, алюминий, железо, так же отмечено повышенное содержание микроэлементов Cu, Zn, Ti, V, Cr, Co, Ni, по сравнению с нижележащими горизонтами.

Таблица 1. Некоторые показатели элементного состава степных почв Торейской котловины

Элементы	Медиана	Ср. знач.	Границы значений	V, %	КК (лит.)	КК (почвы мира)
	Содержание, %					
Si	31,10	30,00	23,64 – 34,49	11,1	1,11	0,94
Al	4,66	4,83	4,20 – 5,67	10,4	0,61	0,66
Fe	1,96	2,04	1,80 – 2,68	16,2	0,48	0,49
Ca	4,33	4,99	0,97 – 10,78	61,3	1,69	2,88
Mg	0,70	0,71	0,54 – 0,92	22,5	0,47	1,4
K	2,01	1,96	1,73 – 2,27	9,7	0,87	1,34
Na	1,13	1,17	1,04 – 1,40	10,3	0,47	2,26
Ti	0,23	0,23	0,17 – 0,34	21,7	0,51	0,32
	Содержание, мг/кг					
Li	19,2	19,3	16,4 – 23,9	11,7	0,96	0,91
Cu	14,3	14,6	11,9 – 21,3	19,4	0,53	0,37
Sr	320,1	338,8	188,1 – 490,6	27,8	0,85	1,82
Ba	595,0	584,6	506,0 – 641,0	8,5	0,95	1,29
Be	1,5	1,5	1,2 – 1,8	14,5	0,65	1,15
Zn	41,3	41,0	26,8 – 69,0	29,3	0,59	0,59
Sc	7,0	6,9	5,4 – 9,3	16,7	0,64	0,6
Y	15,3	15,9	13,2 – 19,6	13,7	0,46	0,66
La	16,6	19,2	14,5 – 24,4	38,0	0,52	0,61
Ce	35,7	39,1	27,4 – 68,8	18,7	0,6	0,63
Pb	14,5	16,0	13,0 – 67,7	38,9	0,97	0,54
P	717,0	788,7	420,0 – 1579,0	48,5	1,04	0,9
V	44,2	41,7	27,3 – 59,2	23,8	0,33	0,34
As	14,0	13,3	10,4 – 14,9	12,6	2,5	2,06
S	401,3	502,9	239,2 – 929,3	43,8	0,42	0,57
Cr	22,3	24,0	18,5 – 36,7	22,8	0,22	0,37
Mn	930,9	952,0	750,0 – 1161,8	14,2	1,03	1,91
Co	9,4	9,4	6,9 – 13,4	20,0	0,63	0,83
Ni	14,9	14,9	9,9 – 21,7	22,8	0,3	0,51

Процессы формирования карбонатов в почвах степных экосистем связаны с образованием нерастворимых и малорастворимых солей щелочноземельных металлов. Выявлено, что в зональных почвах Торейской котловины геохимические особенности отражаются в преимущественном накоплении  $As_{2,5}$  и  $Ca_{1,7}$ , близких к кларку литосферы концентрациях  $Si_{1,1}P_{Mn}PbLiBa_{1,0}KSr_{0,9}Be_{0,7}ScCoAlCeZn_{0,6}CuLaTiFeMgNa_{0,5}$  и рассеянии  $S_{0,4}VNi_{0,3}Cr_{0,2}$ . По сравнению с почвами мира, существенно повышены концентрации Ca, Na, As, Mn, Sr (КК ~ 2 и более).

Педогенная трансформация горных пород приводит к накоплению As, Ca, Pb, Li в мелкоземной почве межозерного вала, подстилаемых базальтами. В профиле почв, сформированных на сланцевых породах, отмечены накопительные концентрации Pb и As. Высокие показатели As в исследуемых почвах связаны с его аномальным региональным фоном.

*Исследования выполнены в рамках темы государственного задания ФГБУН Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (№ госрегистрации 121030100228-4)*

### **Библиографический список**

1. Биосферный заповедник «Даурский», 2009.
2. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Московского университета. Серия: География. 2015. № 2. С. 7–17.

**Исследование химического состава волос у детей, проживающих в  
горнопромышленных районах Забайкальского края**

*Михайлова Л.А.<sup>1</sup>, Барановская Н.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Читинская государственная медицинская академия, Чита, РФ, mihailova-la@mail.ru

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Чита, РФ, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

**Аннотация.** В статье представлены сведения о химическом составе волос детей и подростков, проживающих в горнопромышленных районах Забайкальского края. Установлено, что исследованные образцы биосубстрата характеризуются уникальным составом элементов, отражающим геохимические особенности местности.

**Ключевые слова:** элементный статус, детское население.

**Study of the chemical composition of hair  
in children living in the mining areas of the Trans-Baikal Territory**

*Mikhailova L.A.<sup>1</sup>, Baranovskaya N.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Chita State Medical Academy, Chita, Russian Federation, mihailova-la@mail.ru

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation, [nata@tpu.ru](mailto:nata@tpu.ru)

**Abstract.** The article provides information on the chemical composition of the hair of children and adolescents living in the mining regions of the Trans-Baikal Territory. It has been established that the studied biosubstrate samples are characterized by a unique composition of elements reflecting the geochemical features of the area.

**Keywords:** elementary status, child population.

В Забайкальском крае на организм человека оказывают существенное влияние большое количество неблагоприятных факторов, среди которых необходимо выделить специфические климатические условия, радиоактивные аномалии и геохимические аномалии техногенного и природного генеза. Особую проблему представляет низкая способность почвы и воздуха к самоочищению из-за антициклонального типа циркуляции воздушных масс, что приводит к серьёзному ухудшению состояния окружающей среды. В связи с этим регион имеет один из самых высоких потенциалов загрязнения среды обитания. Для людей, живущих в суровых климатических условиях, риск возникновения негативных последствий, связанных с воздействием загрязняющих веществ, значительно возрастает [2].

На население, проживающее в горнопромышленных районах края, оказывает дополнительное негативное влияние производственная деятельность. Восточное Забайкалье — это историческая горнорудная провинция России, где более 300 лет ведётся добыча полезных ископаемых. Для региона серьёзной проблемой являются отходы горнодобывающей промышленности, такие как отвалы вскрышных пород, некондиционные руды и хвосты обогащения. Эти отходы обычно содержат токсичные химические вещества и могут представлять угрозу для загрязнения почвы, подземных и поверхностных вод, а также атмосферного воздуха. На территории края сформировались несколько стабильных природно-техногенных зон, где наблюдается повышенное содержание тяжёлых металлов и мышьяка в окружающей среде. Загрязнение атмосферного воздуха, воды поверхностных и подземных водоисточников широким спектром химических элементов вносит значимый вклад в формирование экологообусловленной патологии у населения. Токсиканты накапливаются в растительных и животных организмах как непосредственно из окружающей среды, так и через так называемые пищевые цепочки. Это приводит к химической контаминации пищевого сырья, продуктов питания и попаданию наиболее опасных для здоровья человека ксенобиотиков в организм. Сложившаяся экологическая ситуация обуславливает необходимость изучения влияния геохимических аномалий на состояние здоровья населения [1].

Волосы — это один из наиболее удобных индикаторов для анализа геохимических характеристик местности, поскольку они способны накапливать химические элементы из различных компонентов окружающей среды. Исследование волос представляет собой

перспективный метод комплексной оценки состояния окружающей среды и её воздействия на организм человека.

Был проведен анализ образцов волос детей, проживающих в населенных пунктах Александрово-Заводского, Нерчинско-Заводского, Кыринского, Приаргунского, Борзинского, Шелопугинского, Газимуро-Заводского, Тунгокоченского, Калганского, Агинского районов Забайкальского края, вблизи которых складированы отходы горнодобывающей промышленности. Для проведения исследования предварительно от всех обследованных лиц и их родителей получено информированное согласие на участие в эксперименте. Этические принципы исследования соответствовали принципам Хельсинской декларации 1975 г. и ее пересмотру 1983 г. Исследовано методом инструментального нейтронно-активационного анализа 233 проб волос на содержание в них 28 химических элементов (Na, Ca, Sc, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Rb, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U). Анализ проводился на базе Национального исследовательского Томского политехнического университета. Был рассчитан коэффициент концентрации (КК), как отношение содержания элемента к медиане по выборке. В связи с тем, что распределение концентраций химических веществ статистически значимо отличалось от нормального, определялись медиана и интерквартильный размах [Me (Q25-Q75)].

Исследование соотношения химических элементов относительно регионального уровня дало возможность определить специфику накопления изучаемых веществ в волосах детей и подростков в зависимости от района проживания.

Содержание урана, значительно превышающее региональный фон установлено в биосубстрате детей, проживающих в населенных пунктах Урулюнгуй, Калга, Вершино-Шахтаминский, Кокуй 2-й, Калга, Михайловка, Георгиевка, Шерловая Гора и Александровский завод. Уровень урана и тория имеет тесную связь с редкоземельными элементами, поэтому закономерности их распределения в окружающей среде схожи с этими веществами. Наибольшее количество редкоземельных элементов наблюдается в волосах детей, проживающих в сёлах Вершино-Шахтаминский (лантан, самарий, европий, иттербий, лютеций) и Урулюнгуй (лантан, церий, самарий, европий, тербий, иттербий, лютеций). Для элементного состава волос жителей села Кокуй 2-й характерным является высокий уровень накопления редкоземельных металлов – лантана, церия и скандия. Тербий, самарий и неодим с коэффициентами концентрации выше 2 отмечаются в сёлах Кличка, Кокуй 1-й и Кокуй 2-й.

Интерес представляет значительный дисбаланс содержания элементов группы железа (Fe, Mn, Cr, Ni, Co), который оказывает существенное влияние на элементный гомеостаз населения, проживающего на данных территориях. Для населенных пунктов Хапчеранга, Уровские Ключи, Нерчинский завод, Тайна, Калга и Шерловая гора характерно высокое содержание в биосубстрате детей железа и хрома, отдельно необходимо отметить пгт Шерловая гора, где коэффициент концентрации составил для железа - 33,2, хрома - 28,5.

Повышенное накопление мышьяка в волосах отмечается у детей, проживающих в сёлах, Вершино-Шахтаминском, Урулюнгуе, Нерчинский Завод, Хапчеранга, Уровские Ключи, Кличка, пгт Вершино-Дарасунский и Шерловая Гора, в остальных населенных пунктах уровень содержания этого элемента не превышает региональные показатели. В ходе многочисленных исследований было обнаружено, что в окружающей среде, включая почву и воду как поверхностных, так и подземных источников, содержится избыточное количество мышьяка. Это обусловлено как деятельностью человека, связанной с добычей полезных ископаемых и накоплением промышленных отходов, содержащих токсичные элементы (мышьяк, свинец, кадмий, сурьму и другие) в хвостохранилищах, так и с природными геологическими особенностями местности [3].

В населенных пунктах Акатуй, Большой Зерентуй, Бурукан, Газимурский завод, Нерчинский завод установлено превышение содержания серебра в биосубстрате по отношению к региональному фону, Шерловая Гора и Вершино-Дарасунский – золота, что отражает геохимические особенности данной территории, где длительное время велась добыча золото-серебро-полиметаллических руд.

Юго-восточная часть Забайкальского края представляет собой уникальный геохимический район, характеризующийся наличием обширных месторождений и проявлений сурьмы, что вероятно оказывает существенное влияние на микроэлементный состав волос. Для сурьмы установлены высокие значения коэффициента концентрации в сёлах Вершино-Шахтаминский, Урулюнгуй, Уровские Ключи, Большой Зерентуй, Михайловка, Калга, пгт Шерловая Гора, в остальных населенных пунктах концентрация элемента соответствовала региональным значениям. При анализе повышенного накопления золота, серебра и сурьмы наблюдается сходство в распределении этих элементов в биосубстрате, что может быть косвенным признаком скрытого оруденения Au-Ag-Sb типа, связанного с природными геохимическими аномалиями или техногенным воздействием.

Таким образом, химический состав волос характеризуется значимыми отличиями в зависимости от местности, которые обусловлены комплексным взаимодействием природных и техногенных факторов, включая вариативность геохимического фона, климатические условия и экологическую ситуацию. Кроме того, индивидуальные характеристики организма, такие как генетическая предрасположенность, питание и образ жизни, играют важную роль в формировании уникального химического профиля волос. Полученные результаты подчёркивают необходимость учёта региональных и индивидуальных характеристик при проведении анализа волос для изучения экологической ситуации региона.

#### **Библиографический список**

1. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел / Г.А. Юргенсон, В.М. Асосков, Н.Н. Чабан, В.С. Четкин, Н.Г. Григорьев, Т.А. Константинова. // Новосибирск: Наука, 1999. 579 с.
2. Михайлова Л.А., Солодухина М.А. Природные и антропогенные геохимические аномалии Забайкальского края / Современные проблемы науки и образования. – 2016. - № 5. – С. 310 - 317.
3. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А. Мышьяк в ландшафтах Шерловгорского рудного района (Восточное Забайкалье) // Чита: ЗабГУ, 2018. 176 с.

## 6. Научный туризм

УДК: 56.016.3

### Проблемы и перспективы поисков ископаемых остатков на местонахождении динозавров «Кулинда»

*Василенко Е.А.*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,  
г. Чита, Россия, mr.evgeniy.vailenko@gmail.com

**Аннотация:** В работе проведен анализ изучения динозавровых слоев на местонахождении динозавров Кулинда. Определено, что они залегают в виде линз алевролитов и туфоалевролитов небольшой мощности, и на текущий момент в существующих на местонахождении обнажениях выбраны. Определено, что динозавровые слои циклично переслаиваются с дресвяниками и песчаниками и их разновидностями. Для дальнейшего поиска этих слоев предложено пройти три новые разведочные канавы в промежутке между уже существующими.

**Ключевые слова:** палеонтология, птицетазовые динозавры, *Kulindadromeus zabaikalicus*, Восточное Забайкалье.

### Problems and perspectives of searching for dinosaur fossils at the Kulinda locality

*Vasilenko E.A.*

Institute of Nature Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com

**Abstract.** The paper analyzes the study of dinosaur beds at the Kulinda dinosaur site. It was determined that they occur in the form of lenses of siltstones and tuffoleurolites of small thickness, and at the present time in the existing outcrops at the site are selected. It is determined that the dinosaur beds are cyclically interbedded with dresvyanics and sandstones and their varieties. To further search for these layers, three exploration trenches are proposed between the existing trenches.

**Keywords:** paleontology, ornithischian dinosaurs, *Kulindadromeus zabaikalicus*, Kulinda locality, eastern Transbaikalia.

### Введение

Местонахождение динозавров расположено в пади Кулинда Чернышевского района Забайкальского края (рис. 1). Во второй половине XX века на этой территории проводились геологоразведочные работы Мингео СССР на уран. В результате этих работ по левому борту пади Кулинда было пройдено 13 разведочных магистральных канав, в трех из которых (канавы 3, 3(3) и 4) в 2010 году ведущий научный сотрудник ИПРЭК СО РАН С.М. Сеница обнаружила остатки ранее неизвестного науке животного.

С 2011 года в рамках проекта лаборатории геохимии и рудогенеза ИПРЭК СО РАН (руководитель проекта Г.А. Юргенсон) С.М. Сеница начала изучение этих находок. В последующие годы на местонахождении остатки динозавров определяли бельгиец П. Гodefруа («Департамента Земли и истории жизни», Бельгийский Королевский институт Естественных наук, г. Брюссель); Ю.Л. Болотский (ИГиП ДВО РАН, г. Благовещенск), В.Р. Алифанов (ПИН РАН, г. Москва); оперение динозавров изучала Мария Мак Намара из университетского колледжа (Ирландия, г. Корк). Растительные остатки определяли И.М. Машук, А.О. Фролов (ИЗК СО РАН, г. Иркутск). Споры и пыльцу исследовали С.А. Решетова, А.Г. Тяпкина (ИПРЭК СО РАН, г. Чита). Геохимические и минералогические особенности отложений изучают Г.А. Юргенсон и Е.А. Василенко (ИПРЭК СО РАН, г. Чита) [1].

Большая часть ископаемых остатков представлена отпечатками разно размерных, разрозненных, костей передних и задних конечностей, костей плечевого и тазового поясов, шейных, туловищных и хвостовых позвонков, нескольких целых и десятка смятых черепов.

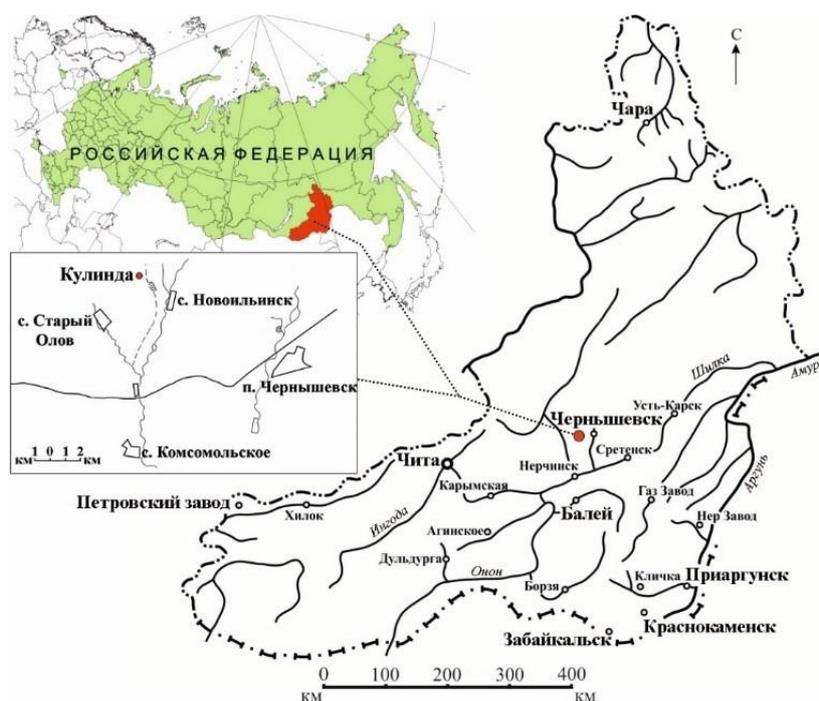


Рисунок 1. Карта-схема расположения местонахождения динозавров Кулинда

Отдельно стоит отметить отпечатки чешуйчатых хвостов, оперения и кожных покровов, которые в палеонтологической летописи сохраняется весьма редко (рис. 2).

Морфологически все ископаемых остатки сходны, что позволило авторам открытия к 2014 году, совместно с зарубежными коллегами описать ранее неизвестный науке род и вид динозавров – *Kulindadromeus zabaikalicus*. Кулиндадромей забайкальский - первый найденный на планете, оперенный, птицетазовый растительноядный динозавр [2, 4]. Это открытие позволило восполнить эволюционный пробел между оперёнными динозаврами и современными птицами [3], а также вошло в топ 10 мировых открытий, по версии журнала Science, в том же году. Эта точка зрения является общепринятой, однако существует мнение, что на местонахождении обнаружены остатки нескольких видов динозавров [5].

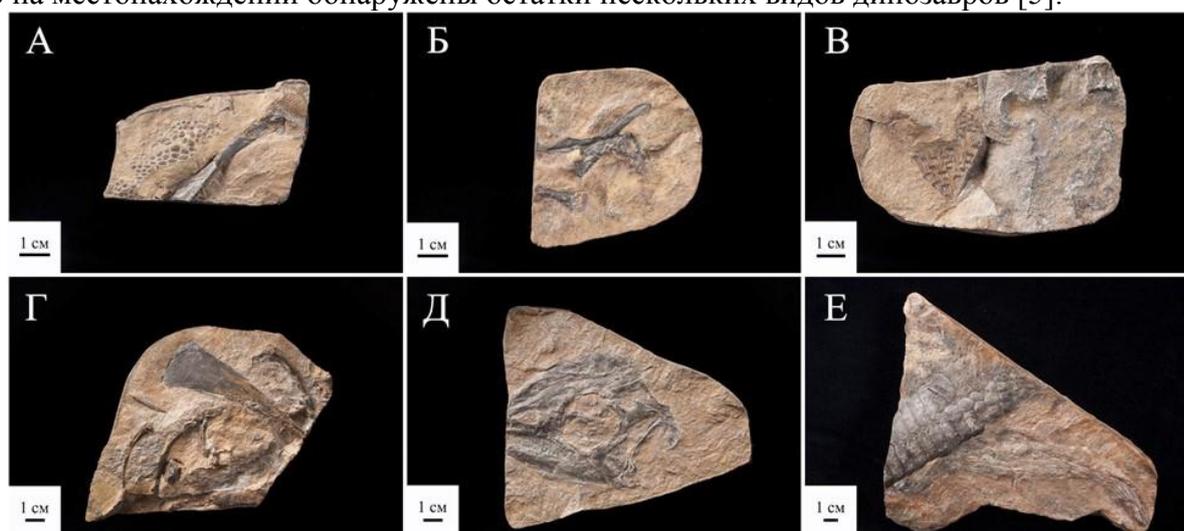


Рисунок 2. Образцы горных пород с отпечатками скелета и кожных покровов *Kulindadromeus zabaikalicus*: А - кость конечности с крупно и мелко-бугристой кожей; Б - позвонок и фаланга; В - оперение с чешуйками; Г - лопатка, ребра, фрагменты позвонков и оперение; Д - череп (голотип); Е - фрагмент чешуйчатого хвоста с оперением. Фото: П. Годефруа, публикуется с разрешения автора

Цель исследования: целью работы является анализ и обобщение данных об особенностях динозавровых слоев на местонахождении динозавров Кулинда с последующей рекомендацией по их поиску на этой территории.

## Материалы и методы исследования

Полевое и камеральное литолого-стратиграфическое и палеонтологическое изучение разрезов. Экспедиционные исследования проводились автором в рамках выполнения работ по государственному заданию в составе лаборатории геохимии и рудогенеза ИПРЭК СО РАН (руководитель проекта Г.А. Юргенсон) в период с 2017 по 2023 год. При их проведении проводился послойный отбор образцов горных пород (рис. 3) с последующим изучением их литолого-петрографических, минералого-геохимических и палеонтологических особенностей.

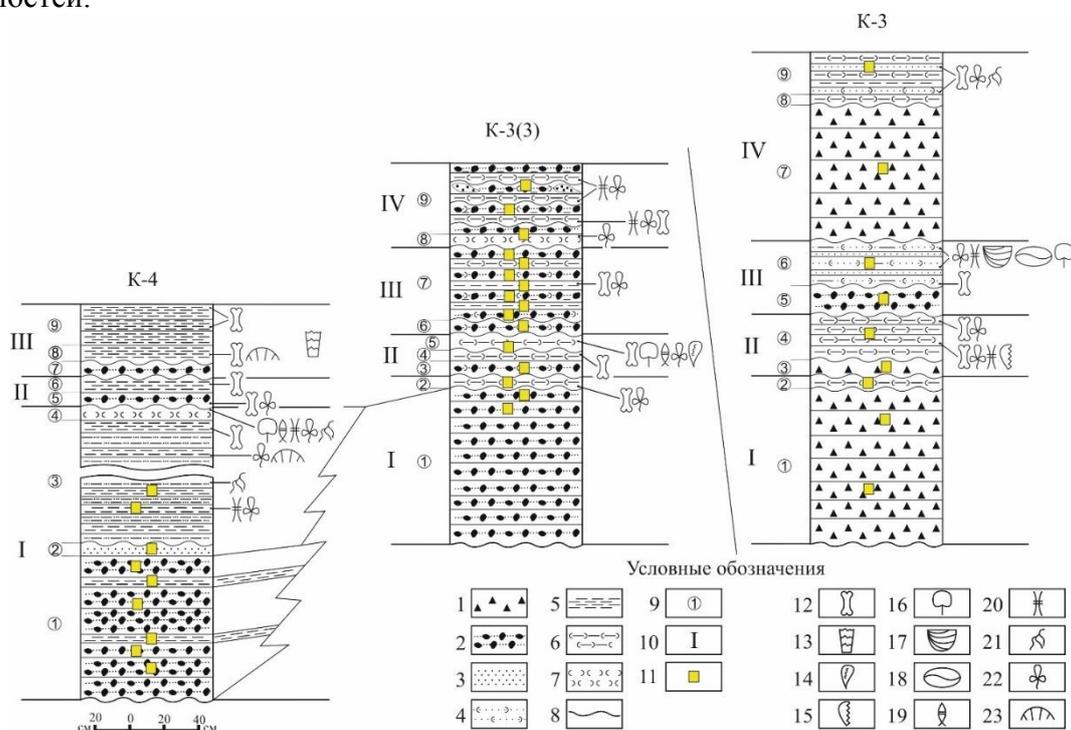


Рисунок 3. Сопоставление стратиграфических колонок канав местонахождения динозавров Кулинда: 1 – дресвяники; 2 – хлидолиты; 3 – песчаники; 4 – туфопесчаники; 5 – алевролиты; 6 – туфоалевролиты; 7 – пепловые туффиты; 8 – несогласное залегание горных пород; 9 – слои пачки; 10 – циклиты; 11 – точки отбора проб для геохимического изучения отложений; 12 – кости динозавров; 13 – хвощи; 14 – амфибии; 15 – зубы хищных динозавров; 16 – щитни; 17 – конхостраки; 18 – остракоды; 19 – насекомые; 20 – домики ручейников; 21 – следы илоедов; 22 – флора; 23 – растительный детрит. Составлено автором, с дополнениями С.М. Синицы.

Для изучения минерального состава горных пород изготовлено более 150 шлифов, аншлифов и полировок, которые исследованы методами оптической микроскопии с помощью оптического поляризационного микроскопа AXIO Scope AI и электронно-зондовыми методами с использованием растрового электронного микроскопа LEO 1430 VP (ГИН СО РАН).

## Результаты исследования и их обсуждение

Исследования показали, что остатки динозавров локализуются в трех из тринадцати магистральных канав (канавы 3, 3 (3) и 4). Отложения этих канав существенно отличаются от остальных, пройденных по пади Кулинда. Они сложены продуктами разрушения гранитов фундамента Оловской впадины и представляют собой три части разреза древнего Кулиндинского озера: канава 3 – верхняя, 3 (3) – средняя, канава 4 – нижняя часть. Всего на местонахождении выделяют четыре основных типа горных пород: алевролиты, песчаники, хлидолиты и дресвяники.

Первую находку кулиндадромея сделала С.М. Синица в канаве 3, ее расчистку проводили первой. Для канавы 3(3) характерно преобладание дресвяников, которые циклично переслаиваются с туфопесчаниками, туфоалевролитами и пепловыми туффитами, содержащие разрозненные остатки скелетов *Kulindadromeus*: кости конечностей, позвонки, черепа, кости плечевого и тазового поясов, фаланги, ребра, редкие находки оперения и

единичные зубы хищных динозавров. В отложениях канавы 3 обнаружен голотип кулиндадромея (рис. 2, Д).

В последующие несколько лет параллельно проводили расчистку канав 4 и 3(3). Для канавы 3 (3) характерны находки отпечатков уплощенных и обугленных позвонков, кораконидов, костей конечностей, плечевого и тазового поясов. Редки челюсти, отпечатки кожи и оперения. Наряду с вышеперечисленными отпечатками в канаве 4 встречаются кисти, фаланги, тонкое и грубое оперение, отпечатки чешуйчатых хвостов. На основании этих работ, а также работы автора по послойному отбору проб для проведения геохимического изучения отложений с ископаемыми остатками динозавров составлено сопоставление стратиграфических колонок канав (рис 3.).

При проведении расчисток канав выявлено, что динозавровые слои – тонкие, мощностью 5-7 см, слои алевролитов и туфоалевролитов, иногда с небольшой примесью тонкозернистого, песчанистого материала, которые претерпели начальную стадию метаморфизма зеленосланцевой фации. Для них характерно залегание в виде линз небольшой протяженности (1-3 м.). Параллельно с расчистками основных канав на местонахождения (3, 3(3) и 4) между ними, в наиболее перспективных местах, были заложены и вскрыты разведочные шурфы, которые подтвердили гипотезу о залегании динозавровых слоев в виде линз. В основном, остатки динозавров, приурочены именно к этим слоям. В них они встречаются, как на поверхности, так и внутри слоя. Иногда их можно обнаружить на границе динозаврового слоя с выше или ниже лежащим. Опытным путем установлено, что для эффективного обнаружения отпечатков внутри динозаврового слоя необходимо начинать проколачивать горную породы не сразу после извлечения из разреза, а по истечении, как минимум 2-3 часов просушки. Допустимо проколачивать образцы горных пород из динозавровых слоев сразу, однако в таком случае образец раскалывается не строго по плоскости отпечатка и в последующем требует трудоемкой препарировки, что обусловлено позднеюрским возрастом этих отложений (168-170 млн. лет, [4]).

Ранее С.М. Сеница выделила перспективные разрезы для поиска других юрских местонахождений динозавров в Забайкалье. Основным критерий для поиска таких обнажений укурейской свиты – сопутствующая динозаврам флора и фауна, аналогичная обнаруженной на местонахождении динозавров Кулинда, а именно: следы жизнедеятельности илоедов *Falsania* и *Reperolithos*, напластования коробочек сплахновых мхов *Paloovoitia* и талломов печеночных мхов *Hepaticites* [5]. Использовать эти критерии возможно в случаях, когда коренные породы выходят на земную поверхность или же, когда разведочные работы в виде канав, шурфов и т.д. уже проведены.

Основной проблемой по поиску динозавровых слоев на местонахождении Кулинда является тот факт, что в ранее вскрытых обнажениях канав 3, 3(3) и 4 на сегодняшний день динозавровые слои выбраны. В разведочных шурфах (9 шт.), пройденных в окрестностях канав эти слои не обнаружены, что подтверждает гипотезу об их залегании в виде линз небольшой протяженности.

Сейчас наиболее перспективной гипотезой для поиска слоев, содержащих ископаемые остатки динозавров, на местонахождении является вскрытие дополнительных разведочных канав, которые могут вскрыть их ниже или выше по разрезу (рис. 4). Предлагается проложить две горизонтальных канавы, между уже существующими магистральными (А, Б, рис. 4), и одну вертикальную (В, рис. 4) глубиной 2 и шириной 1,5 метра.

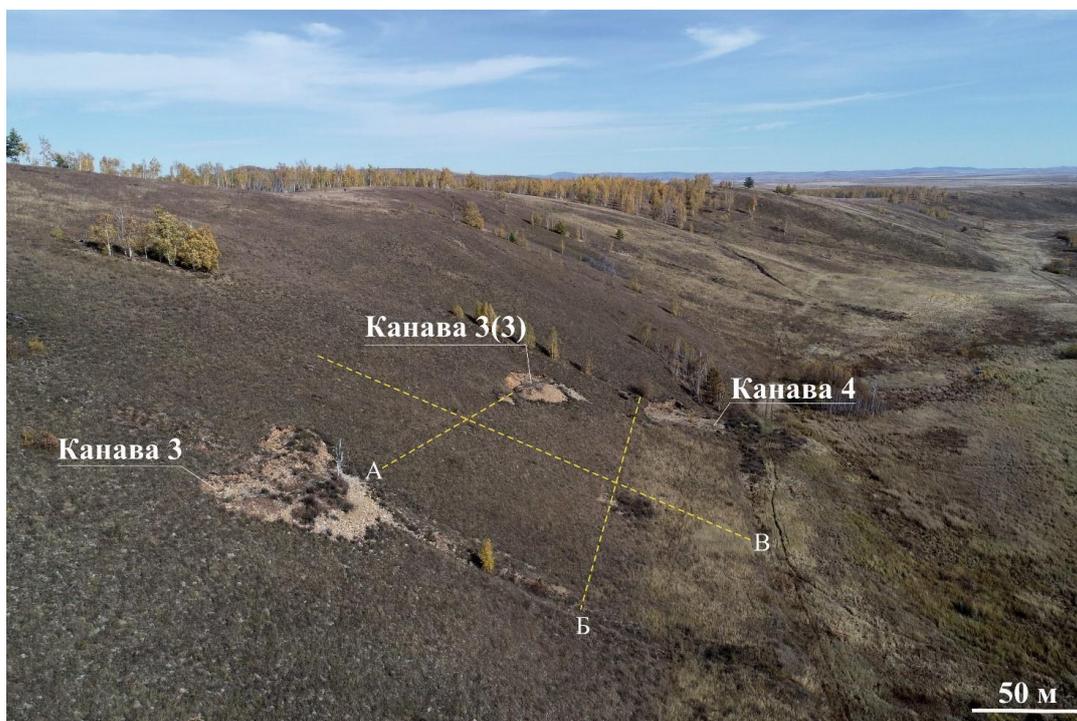


Рисунок 4. Общий вид на канавы местонахождения динозавров Кулинда. Линиями А, Б и В показано расположение перспективных мест для поиска динозавровых слоев

### Заключение

В результате анализа изученности и распространенности динозавровых слоев на местонахождении Кулинда определено, что они залегают в виде линз небольшой протяженности и в существующих обнажениях канав выбраны. Для дальнейшего их изучения необходимо пройти несколько новых разведочных канав, которые помогут изучить распространение динозавровых слоев в промежутке между изученными обнажениями и уточнить закономерности их залегания на территории местонахождения динозавров Кулинда.

### Библиографический список

1. Василенко Е.А., Юргенсон Г.А., Синица С.М., Решетова С.А. Первые данные о содержании тория и урана в отложениях, вмещающих остатки динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus*. // Аспирант. Приложение к журналу Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Т. 12. № 2. С. 8-14.
2. Godefroit P., Spagna P., Sinitsa S.M., Dhouailly D., Bolotsky Y.L., Sizov A.V., McNamara M.E., Benton M.J. A jurassic ornithischian dinosaur from Siberia with both feathers and scales. *Science*. 2014. Т. 345. № 6195. С. 451-455.
3. Pascal Godefroit, Sofia M. Sinitsa, Aude Cincotta, Maria E. McNamara, Svetlana A. Reshetova, and Danielle Dhouailly. Integumentary Structures in *Kulindadromeus zabaikalicus*, a Basal Neornithischian Dinosaur from the Jurassic of Siberia // *The Evolution of Feathers, Fascinating Life Sciences* / C. Foth, O. W. M. Rauhut (eds.). Springer Nature Switzerland AG 2020. pp 47-65.
4. Cincotta A., Godefroit P., Yans J., Pestchevitskaya E.B., Sinitsa S.M., Reshetova S.A., Markevich V.S., Debaille V., Mashchuk I.M., Frolov A.O., Gerdes A. The rise of feathered dinosaurs: *Kulindadromeus zabaikalicus*, the oldest dinosaur with 'feather-like' structures // *PeerJ*. 2019. Т. 2019. № 2. С. 6239.
7. Годафруа П., Синица С.М., Болотский Ю.Л., Болотский И.Ю., Решетова С.А. Возможность находок новых местонахождений оперенных динозавров в мезозойских отложениях Забайкалья. В сборнике: Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Эволюция биосферы и техногенез", VI Всероссийского симпозиума с международным участием "Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий" и XIII Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана "Рациональное природопользование", "Современное минералообразование", посвященных 35-летию ИПРЭК СО РАН. 2016. С. 37-39.

## Аэрофотосъемка и новые сведения о природном памятнике «Мульдайский метеоритный кратер» (Восточное Забайкалье)

*Груздев Р.В.<sup>1</sup>, Рыльский И.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, rogruzdev@mail.ru

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, rilskiy@mail.ru

**Аннотация.** В рамках реализации программы геологоразведочных работ в полигон аэрофотосъемки совершенно случайно попал природный памятник «Мульдайский метеоритный кратер». Благодаря чему были получены принципиально новые сведения о объекте регионального значения. В настоящей статье приводится краткая географическая информация объекта, его историческая справка, подробно описываются результаты аэрофотосъемочных работ и воздушного лазерного сканирования. В работе вынесены на обсуждения новые данные, имеющие расхождения с материалами предыдущих исследователей, по-новому интерпретированы доводы участников экспедиции 1986-87 года, а также выработана авторская гипотеза о происхождении природного памятника.

**Ключевые слова:** аэрофотосъемка, метеоритный кратер, карстовые пустоты, магнитные аномалии.

## Aerial photography and new information about the natural monument «Muldaisky meteorite Crater» (Eastern Transbaikalia)

*Gruzdev R.V.<sup>1</sup>, Rylsky I.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the SB of the RAS, Chita, Russia, rogruzdev@mail.ru

<sup>2</sup>Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russia, rilskiy@mail.ru

**Abstract.** As part of the geological exploration program, the natural monument «Muldaisky meteorite Crater» accidentally entered the aerial survey site. As a result, fundamentally new information about the object of regional importance was obtained. This article provides a brief geographical information of the object, its historical background, and describes in detail the results of aerial photography and aerial laser scanning. The paper discusses new data that have discrepancies with the materials of previous researchers, reinterprets the arguments of the participants of the 1986-87 expedition, and develops the author's hypothesis about the origin of the natural monument.

**Keywords:** aerial photography, meteorite crater, karst voids, magnetic anomalies.

### Краткая географическая информация и историческая справка

Природный памятник «Мульдайский метеоритный кратер» расположен в отрогах Газимурского хребта, на верхней террасе правого борта реки Мульдай, у основания склона рядом с распадком Ямным, в 105 км восточнее г. Сретенска. Географические координаты центральной части памятника природы: 52° 13' 54» с. ш., 119° 16' 50» в. д. Ближайшим населённым пунктом является село Курлея. До села Курлея идёт хорошая просёлочная дорога. Далее маршрут проходит в ненаселённой и достаточно труднодоступной местности до распадка Ямного по правому берегу реки Мульдай, на верхней террасе которой и расположен памятник природы [5].

Мульдайский метеоритный кратер, памятник природы (Решение Чит. Облисполкома № 593 от 29.12.1988). ООПТ имеет региональное значение (геологический профиль), порядковый номер кадастрового дела № 558 и регистрационный номер № 1057536125382. Согласно классификации Международного союза охраны природы (МСОП, IUCN) объекту присвоена III категория. Общая площадь ООПТ составляет – 2 га [1; 3].

Объектом охраны является воронкообразная форма рельефа, предположительно связываемая с местом падения метеорита (рис. 1). Расположен в Сретенском районе на р. Мульдай (прав. приток р. Газимур) в 8 км от устья. Кратер обнаружен в 1980 журналистом В.В. Курочкиным, обследован по его настоянию в 1986-87 членами Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР с участием учёного секретаря Г.М. Ивановой и научного сотрудника АН Эстонской ССР по малым метеоритным кратерам из Эстонии Ю.В. Кестлане [5].



Рисунок 1. Вид с северной экспозиции склона на Мульда́йский метеоритный кратер (Фото из архивов Ю.Т. Руденко. Автор: В. Дворовенко, 1987 г.) [2]

Для изучения объекта исследователями практически через всю воронку была пройдена канава (рис. 2), проведена топографическая съемка, изучена морфология кратера и обследован рыхлый материал в его бортах и на дне.



Рисунок 2. Проходка канавы в борту Мульда́йского метеоритного кратера (Фото из архивов Ю.Т. Руденко. Автор: В. Дворовенко, 1987 г.) [2]

Согласно открытым источникам, Мульда́йский метеоритный кратер представляет собой воронку диаметром по длинной оси 100 м, по поперечной 85 м. Дно плоское, заполнено торфом с включением обломков кристаллических сланцев, занято заболоченным лесом, большая часть склонов тоже облесена. Склоны крутые до  $35^\circ$ . Воронка расположена у подошвы склона на верхней террасе, имеющей высоту около 14 м. Дно воронки лежит ниже уреза реки на 1,6 м, его абсолютная отметка 598 м (Балтийская система высот). Глубина

воронки от 10÷16 м. Внутри воронки выявлено нарушение ориентации стрелки компаса, что позволило исследователям предположить наличие железного метеоритного вещества в погребенном дне кратера [1; 5].

По мнению первых исследователей, о метеоритном происхождении кратера свидетельствует наличие вала высотой до 0,5 м, расположенного по бордюру воронки, дефицит объема вещества, находящегося в пределах вала, по отношению к объему воронки, говорит о выбросе вещества из воронки в условиях рельефа, совершенно исключающих ее образование другим способом, кроме взрыва метеорита. Возраст воронки не определен. По мощности торфяного слоя, накопившегося на дне воронки, падение метеорита могло произойти несколько тысячелетий назад [1; 5].

Более глубокие серьезные исследования, включающие геофизические, горные и буровые работы после работ 1986-87 года не проводились.

#### **Методика аэросъемочных работ**

Аэрофотосъемка и воздушное лазерное сканирование выполнялось в 2021 году в рамках программы геологоразведочных работ. Работы велись с использованием пилотируемого носителя (Ан-2), лазерной сканирующей системы REIGL LMS Q560, и цифровой среднеформатной аэрофотосъемочной камеры IGI DIGICAM H60 (60 мегапикселей). Итоговые результаты получены в системе координат WGS84 (эллипсоидальные высоты), также было проведено уточнение локальных параметров связи WGS84-ГСК2011 и уточнены остаточные поправки в высоты при переходе к Балтийской системе высот 1977 года с использованием модели геоида EGM2008.

Воздушное лазерное сканирование выполнялось с высоты 600 м (+/- 30 м) с одновременной аэрофотосъемкой в видимом диапазоне. Плотность лазерного сканирования составила 4,2 точек на 1 м<sup>2</sup>, среднее расстояние между прямыми измерениями координат облучаемой поверхности – 48 см. Пространственное разрешение аэрофотоснимков на местности получено не хуже 0,10 м/пикс. Съемка велась параллельными залетами с продольным перекрытием 65% и поперечным перекрытием 30÷35%.

Время выполнения работ составило 3 часа (включая сопредельные территории, помимо самого кратера). Съемка велась в осенний период с практически отсутствующим листовым покровом. Это позволило получить варианты модели рельефа как по данным лазерного сканирования (которое свободно проникает сквозь кроны деревьев даже при наличии листвы), так и по данным аэрофотосъемки (посредством построения фотограмметрического блока и стереомоделирования рельефа).

По результатам проведенных наземных измерений на контрольных точках, координаты которых определялись методом статических ГНСС-измерений, оценочная среднеквадратическая погрешность лазерно-локационной съемки по высоте составила 12,5 см, и 24,2 см – в плане. Высотная точность модели рельефа, построенной по данным аэрофотосъемки с разрешением 10 см несколько хуже – около 28 см по высоте и 31 см – в плане.

По результатам лазерного сканирования была выполнена классификация точек лазерных отражений (классы «Земля», «Растительность», «Прочее») с использованием средств автоматизации с последующей визуальной проверкой построенной модели (использовался пакет Terra Solid). Из точек класса «Земля» методом триангуляции Делоне (средняя длина ребра – 1,2÷1,8 м в зависимости от типа рельефа) была построена TIN-модель местности, позднее преобразованная в регулярно-ячеистую модель данных (формат ArcINFO GRID) с шагом 1 м. Цифровая матрица представлена в виде изображения рельефа местности методом теневой пластики (рис. 3). На основе цифровой матрицы (формат ArcINFO GRID) построены изолинии рельефа местности с сечением 0,1 м (рис. 4).

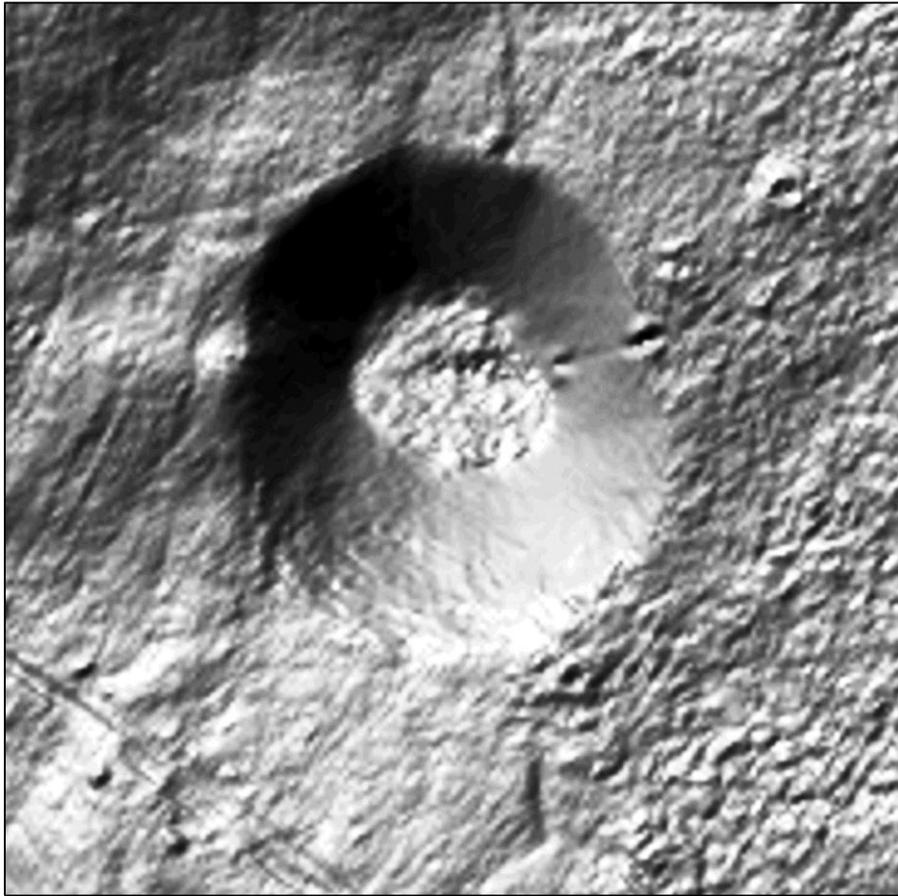


Рисунок 3. Модель рельефа местности методом теневой пластики (север сверху)

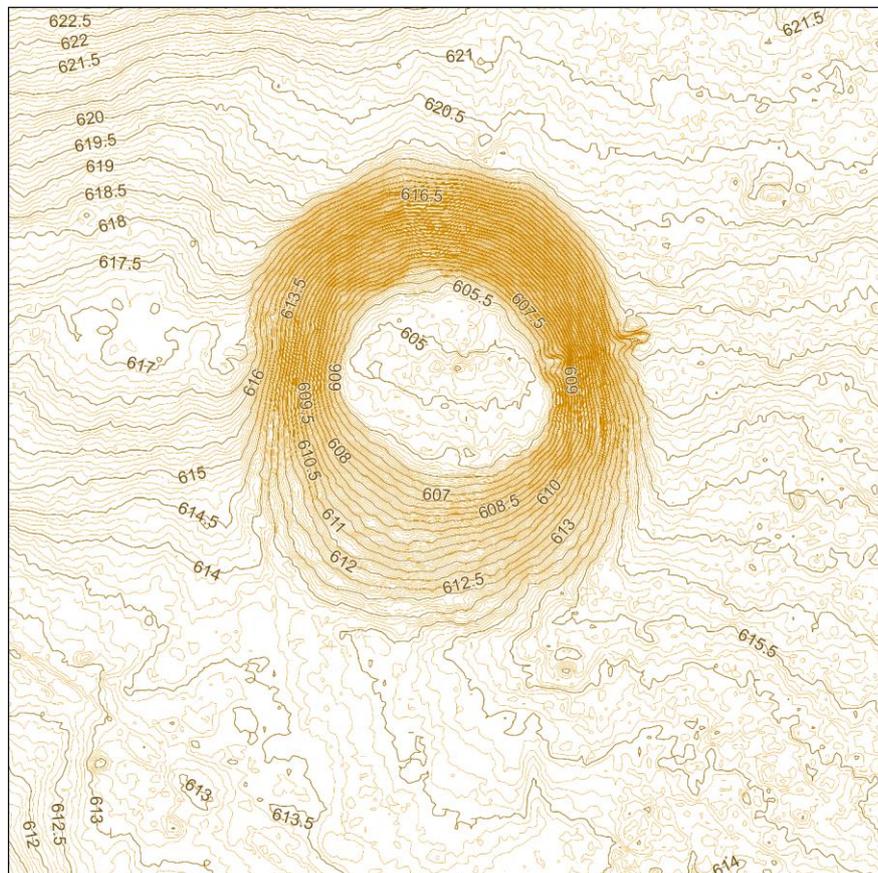


Рисунок 4. Изолинии рельефа местности (горизонтали) с сечением 0,1 м (север сверху)

## Обсуждение результатов

Для наглядного отображения цифровая модель рельефа местности представлена в трехмерном изображении (рис. 5).

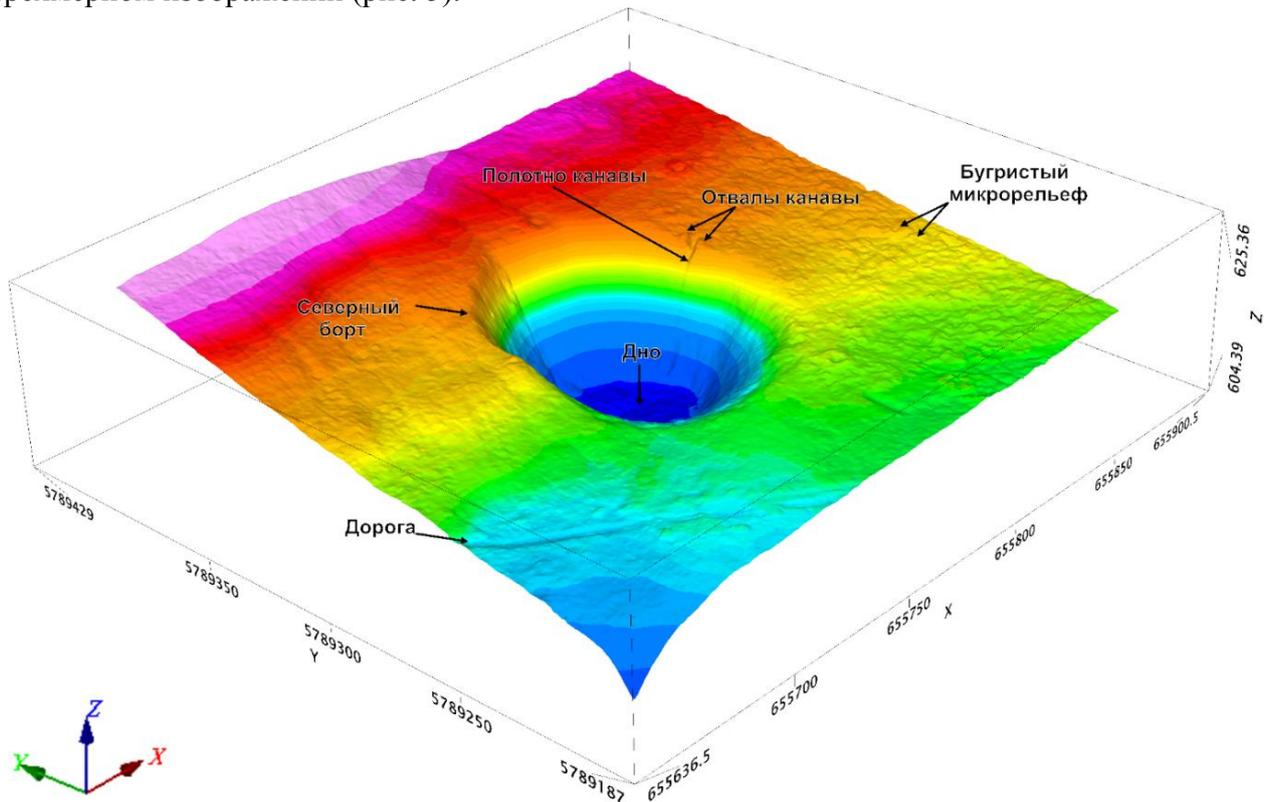


Рисунок 5. Представленная в объеме цифровая модель рельефа (север на стрелке Y)

По итогам визуальной оценки профилей воронки, построенным по точкам лазерного сканирования, было отмечено, что описанного в ранних свидетельствах о кратере вала не отмечено. Точность и подробность данных ВЛС (12,5 см по высоте, шаг точек – около полуметра) исключает возможность пропуска валов выше 20 см по высоте, и, если бы ударный вал был представлен на местности, он прекрасно выделялся бы в точках лазерных отражений.

Вместе с этим, при полевом обследовании памятника в 2017 году известный забайкальский путешественник А.А. Леснянский отмечает в своей статье отсутствие специфического вала по периметру кратера – «*Может, глаз у нас не наметан, а, может, вал раньше был, да разгладился со временем. В тоже время отчетливо просматриваются отвалы от пройденной в 1986-87 годы канавы, стало быть если они сохранились, то и вал должен быть?..*» [2].

Канавы предшественников действительно хорошо дешифрируются в материалах аэрофотосъемки в виде своеобразной выемки (полотно) с двумя характерными бугорками (отвалы). В особенности хорошо сохранилась ее восточная часть. Кроме того, в цифровой модели рельефа хорошо прослеживается вездеходная дорога и кочковатый бугристый микрорельеф (формы 10÷20 см) (Рис. 3÷5). Соответственно пропуск описанного исследователями вала в точках лазерных отражений практически не возможен.

Второй особенностью, противоречащей ранним описаниям, является высота дна воронки. По данным ВЛС, высота дна кратера (низшая точка) – 604,39 м, высота уреза реки в среднем около – 604,50 м. Система высот – WGS84, эллипсоидальные высоты. Таким образом, нетрудно видеть, что дно кратера находится практически на одном уровне высот с ближайшим водотоком, а не ниже его на 1,60 метра.

Хотелось бы уделить внимание еще паре обстоятельств, которые выходят за пределы возможностей аэрофотосъемки и лазерного сканирования, но имеют геологическое объяснение. Участниками экспедиции 1986-87 года, обнаружен мелкообломочный каменный

материал, который интерпретировался как раздробленные коренные породы при ударе небесного тела. А.А. Леснянский в своей статье так же отмечает, что «... этим рыхлым «осколочным» материалом сложен не только вал по периметру кратера, но точно такой же щебень и дресва распространены вообще по всей долине, а склоны сопки сплошь ими покрыты под тонким слоем дерна. И это всего лишь типичные элювиальные и делювиальные отложения, формирующиеся при естественных процессах разрушения и выветривания горных пород» [2]. Эту точку зрения разделяют и авторы настоящей статьи. В окрестностях устья р. Мульдай в ходе выполнения литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния Груздев Р.В. лично неоднократно встречал элювиально-делювиальными развалы кремнистых сланцев и алевролитов ерниченской толщи ( $\text{Є}_{1-2}^{\text{er}}$ ), наблюдаемых в виде обломочных плиток.

Следующее, участниками экспедиции внутри воронки выявлено нарушение ориентации стрелки компаса, что позволило им предположить наличие железного метеоритного вещества в погребенном дне кратера. Последнее подтверждает в своей статье Александр Абрамович – «... на дне воронки компас действительно сбивается и чудит (мы пользовались электронным компасом, встроенным в спортивные часы)» [2]. Этот факт можно объяснить особенностью геологического строения территории природного памятника. Здесь основное участие принимают терригенно-осадочные отложения ерниченской толщи нижнего среднего кембрия ( $\text{Є}_{1-2}^{\text{er}}$ ) [4]. Породы толщи представлены светло-серыми песчаниками аркозовыми и кварцитовидными, алевропесчаниками, темно-серыми до черных алевролитами тонкополосчатыми, прослоями и линзами серых известняков, гравелитами с пёстроцветными серицит-кремнистыми сланцами. Повсеместно терригенные породы ороговикованны до образования плагиоклаз-кордиерит-биотитовых, кварц-полевошпатовых и биотит-роговообманковых роговиков, а карбонатные породы скарнированы [4]. В районе работ лично автором был обследован целый ряд магнитных аномалий, представленных скарнированными известняками быстринской и линзами известняков ерниченской толщи. Некоторые наиболее интенсивные аномалии заверялись поисковым картировочным бурением. Как правило, природа магнитных аномалий устанавливалась однозначно – скарнированные разновидности карбонатных пород с содержанием магнетита, реже пирротина. Вероятно, упомянутые магнитные аномалии и нарушение ориентации компаса обусловлены развитием магнетитсодержащих скарнов на контакте линз известняков ерниченской толщи с средне-позднеюрскими гранодиорит-порфирами шахтаминского комплекса ( $\gamma\delta\lambda_3\text{J}_{2-3}\text{š}$ ). Изучение Г.А. Юргенсоном под электронным микроскопом тяжелой фракции рыхлых отложений, отобранных О.В. Корсуном, не выявило примеси метеоритных минералов.

Наличие растворимых карбонатных пород в пачке ерниченской толщи в совокупности с перечисленными выше факторами позволяет рассматривать здесь вероятность подземного карстообразования с последующим обвалом, перекрывающих карст пород. Для подтверждения нашей гипотезы в пределах природного памятника требуется проведение детальных геофизических исследований с последующим изучением объекта горными и буровыми работами. Только тогда, может появиться полное понимание о природе так называемого Мульдайского метеоритного кратера.

### **Выводы**

1. Уточнены геометрические параметры объекта (в том числе объем).
2. Дно воронки лежит практически на одном уровне высот с ближайшим водотоком (ниже на 0,11 метра), его абсолютная отметка составляет 604,39 м (WGS84, эллипсоидальная высота).
3. В материалах аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования четко выражена канава предшественников, вместе с этим отсутствует вал высотой до 0,5 м.
4. Природа образования Мульдайского метеоритного кратера скорее всего связана с процессами карстообразования по линзам известняков ерниченской толщи и последующим провалом грунта.

5. Найденные обломки пород в пределах памятника имеют находки далеко за пределами памятника и, вероятно, являются элювиально-делювиальными развалами песчаников, алевролитов и кремнистых сланцев.

6. Магнитные аномалии могут быть связаны с контактово-метасоматическими процессами, в том числе, образованием скарнов с магнетитом и пирротинном, по линзам и прослоям известняков, встречающихся в ернической толще.

#### **Библиографический список**

1. Кадастр «Особо охраняемых природных территорий Читинской области»: сайт. URL: <http://zabaikaloopt.ru/gku-direkciya-oopt-zabajkalskogo/oopt/pamyatniki-prirody/muldajskij-meteoritnyj-krater/> (дата обращения: 01.04.2025).

2. Леснянский А.А. Туристический велопоход: сайт. URL: <https://lesnyanskiy.livejournal.com> (дата обращения: 01.04.2025).

3. Решение Читинского областного совета народных депутатов № 593 от 29.12.1988 г. «Об утверждении государственных памятников природы на территории Читинской области», 1988. С. 51–52.

4. Сеница С.М., Турчинов И.А. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Восточно-Забайкальская. Лист N-50-XXXVI. Объяснительная записка. М.: Недра, 1968. 68 с.

5. Энциклопедия Забайкалья: сайт. URL: <http://encycl.chita.ru/encycl/person/?id=2868> (дата обращения: 01.04.2025).

**Район Ивано-Арахлейских озёр в Забайкальском крае:  
300 лет научных исследований**

*Константинов А.В.*

Забайкальский научный центр Института истории, археологии, этнографии ДВО РАН,  
Чита, Россия, e-mail: konstant1956@mail.ru

**Аннотация.** В статье обосновывается значимость района Ивано-Арахлейских озёр как научного полигона, изучение которого имеет 300-летнюю историю (с Д.Г. Мессершмидта). Район, расположенный вблизи краевого центра, представляет собой идеальную территорию для продолжения исследований и организации научного туризма.

**Ключевые слова:** Ивано-Арахлейские озёра, академические экспедиции, Д.Г. Мессершмидт, научный туризм.

**Ivano-Arachleysky Lakes in the Transbaikal region:  
300 years of scientific research**

*Konstantinov A. V.*

Transbaikal Scientific Center of the Institute of History, Archaeology, Ethnography FEB RAS,  
Chita, Russia, e-mail: konstant1956@mail.ru

**Abstract.** The article substantiates the significance of the Ivano-Arachleyskoye lakes area as a scientific testing ground which has a 300-year history of scientific research (since D.G. Messerschmidt). The area located near the regional center is an ideal territory for continuing research and organizing scientific tourism.

**Keywords:** Ivano-Arakhleyskie Lakes, academic expeditions, D.G. Messerschmidt, scientific tourism.

В год 300-летия Российской Академии Наук представляется вполне логичным обратиться к начальному этапу исследования Забайкалья, который вполне можно назвать академическим. Как известно в XVIII в. в Забайкалье работали экспедиции Д.Г. Мессершмидта, Г.Ф. Миллера, П.С. Палласа. В составе экспедиций были студенты (будущие академики) С.С. Крашенинников, Соколов. Если говорить об изучении современной территории Забайкальского края, то оно началось именно с района Ивано-Арахлейских озёр, которые оказались на пути движения, как первых казаков-землепроходцев, так и первых академических экспедиций. В 2024 г. исполнилось 300 лет первой научной экспедиции в крае Д.Г. Мессершмидта. В связи с этим решением губернатора Забайкальской области А.М. Осипова этот год был объявлен Годом науки в Забайкальском крае. Как известно Д.Г. Мессершмидт считается первым исследователем Сибири. Дипломированный специалист, врач по специальности он имел поручение от «аптекарской комиссии» собирать и описывать всё, что будет полезно для аптекарского дела. Но обладая обширными знаниями и интересом, он делал гораздо больше, занимаясь археологией, этнографией, лингвистикой, топонимикой, картографией и т.д. Важным делом среди мероприятий Года науки стала публикация забайкальских страниц дневника Д.Г. Мессершмидта (ранее публиковались частично).

Из дневника известно, что 16 июня 1724 г. его отряд на седьмой год экспедиции достиг ещё пустынных берегов озера Шакша-нор (Шакшинское), где провёл семь дней, активно занимаясь орнитологией. Интересно, что Мессершмидт обратил внимание на водораздельный характер местности. Он отметил исток из озера Шакша-нор в сторону озера Ирген-нор (Иргень) - исток реки Хилок, Яблоновый хребет называет Яблакан-камень, упоминает озеро Арахлей-нор (Арахлей), речку Домна, впадающую в Ингоду. Именно по этому маршруту позже прошёл Московский тракт. Судя по его описанию маршрута Иргенским волоком (по реке Рушмалей), по которому прошли отряды первых землепроходцев (П.И. Бекетов, А.Ф. Пашков), к этому времени уже не пользовались. Единственный населённый пункт, упомянутый Мессершмидтом на пути от озера Шакша-нор к Чите (Плотбищу) — это церковная заимка. Судя по описанию, располагалась она уже на восточных склонах Яблонового хребта по реке Домна. Принадлежать она могла в то время только известному Нерчинскому Успенскому монастырю. Он был основан в 1712 г. по указу

Петра I и активно занимался, в том числе рыбным промыслом на Шакше. Судя по всему, заимка служила в качестве перевалочной базы на пути к монастырю [4, с. 49-56]. От Читы экспедиция сплавилась на плотках до главного города «даурской земли» Нерчинска. Добавим также, что уже на обратном пути 25 января 1725 г. Мессершмидт отметил в Чите сильное землетрясение, а в феврале вновь прошёл тем же маршрутом.

Через 10 лет в 1735 г. эти места посетил академик, историк, руководитель 2-й Камчатской экспедиции (1733-1743) Г.Ф. Миллер. Его как историка интересовал Иргенский острог, поставленный Бекетовым в сентябре 1653 г. Острог к этому времени был уже упразднён и разобран в 1708-1709 гг. Упомянул Миллер об остовах лодок первых землепроходцев, достигших этих мест двигаясь вверх по Хилку, а также о часовне на месте острога. Позже возникла легенда, по которой часовня была поставлена в честь казаков – Семеона, Киприана, Иосифа, Василия погубленных несправедливым воеводой. В 1866 г. здесь возник Иргенский миссионерский стан для приведения инородцев к православию, на месте сгоревшей часовни была построена церковь. Иргень стала местом массового паломничества, ежегодно на Иргень совершался крестный ход и проводился общезабайкальский праздник 9-й пятницы (после Пасхи). Празднование продолжалось пять дней и в нём, в том числе принимали участие буряты и тунгусы, организовывалась и ярмарка. На берегу озера стояла часовня во имя пустынножителя Иосифа Иорданского. Здесь на второй день праздника происходило освящение воды в озере и крещение. Иргенский миссионерский стан был закрыт в 1923 г., а в его помещениях разместилась детская колония для беспризорников. Через несколько лет она также была закрыта, а все строения разобраны и вывезены для строительства в других местах. Часовню перенесли в расположенное в 2-х км с. Иргень и использовали как складское помещение, благодаря чему она и сохранялась до 1990-х гг. Затем ставшая бесхозной стала быстро разрушаться и оказалась на окраине села. В 2025 г. (объявлен Годом охраны культурного наследия в Забайкальском крае) решается вопрос о её восстановлении. Проведённый сотрудником ИПРЭК СО РАН И.Л. Вахниной дендрохронологический анализ образцов показал, что часовня датируется не ранее 1860-х гг.

Академик П.С. Паллас в 1772 г. прошёл по Московскому тракту от Еравнинских озёр до Читы. Он также отметил водораздельный характер этой местности. Гора Палласа – такое название носит вершина с отметкой 1236 м на Яблоновом хребте (Водораздельная гора), получившая широкую известность. Присвоение этой вершине имени Палласа было инициировано Забайкальским региональным отделением ВОО «Русское географическое общество».

Этот район богат археологическими памятниками. История их изучения начинается с 1920-х гг. В 1924 г. сотрудником Читинского краеведческого музея этнографом А.Н. Добромысловым на берегу оз. Шакша были найдены четыре литейные формы для изготовления ножей, получившие известность как шакшинский клад. В 1934 г. археологом из Барнаула Г.П. Сергеевым был собран археологический материал на северо-восточном берегу оз. Иван у с. Иван-Озеро. Среди находок были отщепы, отбойники, каменные наконечники стрел, орнаментированная керамика, кусочки шлака. В 1958 г. берега озера Иргень осматривал и собрал разнообразный материал отряд экспедиции под руководством А.П. Окладникова. В составе отряда были аспирант В.Е. Ларичев и доцент Читинского пединститута М.И. Рижский. В 1966 г. результаты этих сборов были обобщены в статье В.Е. Ларичева и М.И. Рижского «Озерный неолит и ранняя бронза Восточного Забайкалья».

Значительные работы в районе озёр были проведены Амурской археологической экспедицией Читинского государственного педагогического института им. Чернышевского под руководством И.И. Кириллова и Е.В. Ковычева в 1970-80-х гг. В итоге были выявлены различные памятники, датируемые от эпохи неолита до времени русских землепроходцев. Сборы археологического материала были проведены у с. Иван-Озеро в районе так называемых Песков, где были выделены три пункта локализации археологического материала. Знаковым событием для забайкальской археологии стало открытие в 1975 г. могильника на оз. Ундугун. В результате его исследования была выделена ундугунская

культура (XII-XV вв.), носителями которой являлись тунгусоязычные племена. Также могильники этой культуры были выявлены в районе озер Шакша и Тасей. В 1983 г. археологическими изысканиями было подтверждено место нахождения и проведены археологические раскопки Иргенского острога.

В 2020-х гг. археологические исследования в районе были продолжены отрядом Забайкальского регионального отделения Русского географического общества под руководством автора статьи. В этих работах активное участие приняли жители с. Иван-Озера – М.Н. Сапижев, П.С. Кобелев. Отдельное поверхностное захоронение выявлено на вершине увала в верховьях р. Дутулур, впадающей в оз. Иван. Расположено оно на вершине одного из увалов в предгорьях Яблонового хребта, откуда открывается широкая панорама озер. Погребение представляет собой конструкцию подпрямоугольной формы, выложенную по периметру скальными обломками в один-два яруса. Внутри конструкции на поверхности частично сохранился костяк человека, которого сопровождал разнообразный инвентарь – стремена, удила, пряжки, 20 наконечников стрел, российские монеты 1749 г. Судя по всему, исходя из характера захоронения, набора погребального инвентаря изучено захоронение бурятского охотника, которое можно датировать XVIII в. [2].

Впервые в районе Ивано-Арахлейских озёр выявлен памятник с древними рисунками - Арахлейская писаница. О возможном наличии древних рисунков сообщил в начале 2023 г. житель Читы Р.А. Утюжников. В этом же году было проведено их изучение под руководством автора статьи. Памятник расположен на западных отрогах Яблонового хребта, обращенных в сторону Ивано-Арахлейских озер в верховьях небольшой р. Грязнуха (Шаборта), впадающей в оз. Арахлей. Примерно в 6-7 км от озера по левому борту пади расположены несколько останцов, которые, по мнению геолога Р.А. Филенко, являются полиминеральными образованиями.

Рисунки выявлены на останце, который занимает самую высокую позицию на вершине сопки. Он представляет собой скальную гряду высотой 5-7 м, которая вытянулась в направлении восток-запад. От останца в северо-восточном направлении просматривается Гора Палласа (1236 м), а в западном – Шакшинское озеро. Рисунки находятся в нише размерами 2 x 5 м расположенной ближе к западной оконечности останца и имеющей южную экспозицию. Обвал части блоков образовал карниз, который и создаёт подобие ниши, а обрушившиеся скальные обломки образовали своеобразный «пол».

В нише выявлено три плоскости с древними рисунками, выполненными красной охрой. Описание плоскостей составлялось с учётом их расположения, размеров, ориентации по сторонам света, высоте расположения от пола, наличия карниза, наличия или отсутствия отложений под плоскостью, состояния сохранности. Описание и фотофиксация рисунков проведена бесконтактным способом. Каждая фотография в последующем при камеральной обработке дублировалась с использованием специальной программы «aDStretch», отрисовка изображений осуществлялась в программе Photoshop. Всего выявлено несколько десятков рисунков. Точное число их назвать сложно, т.к. в ряде случаев они расположены на разрушающейся поверхности, а иногда и в целом породе. Часто фиксируются только красные пятна, которые невозможно интерпретировать. Среди изображений антропоморфная фигура, фигуры животных, параллельные линии, крестообразные изображения. В целом сохранность рисунков не удовлетворительная, хорошо сохранились рисунки только на одной из плоскостей. Выявленные рисунки хорошо коррелируются с материалами других забайкальских писаниц исследованных А.П. Окладниковым, А.И. Мазиным. Датируются бронзовым веком (2-1 тыс. до н.э.). Ближайшие наскальные рисунки находятся на восточном склоне Яблонового хребта в Кадалинском распадке – Дворцовская писаница [2].

Интересный археологический памятник русской археологии выявлен в 2024 г. на северо-восточном берегу оз. Шакшинское в районе протоки (сейчас не действует), соединяющей её с оз. Арахлей. По полевой дороге, идущей по береговой террасе и по полю, собран подъёмный материал, связанный с почвенным слоем. Среди находок многочисленные находки толстостенной керамики, кости домашних и диких животных, рыб. Встречаются

оплавленные куски железной руды, изделия из железа – гвозди, пробой, пластинки и т.д. Наиболее ценные находки – серебряный и медный нательные кресты, рыболовные крючки со свинцовым напаяем, медные и серебряные копейки XVIII в.

Прежде всего, обращает на себя внимание большое количество железного шлака, что свидетельствует о наличии металлургического производства. Выходы озёрных руд зафиксированы геологами рядом вдоль северной береговой террасы озера и у с. Беклемишево. Известно, что во второй половине XVII в. единственным кузнечным центром в Забайкалье был Телембинский острог (основан в 1658 г.). Он располагался у протоки, соединяющей озёра Большое и Малое Телемба с р. Конда, впадающей в Витим. О существовании в остроге железоделательного производства свидетельствуют письменные источники. О находке «одиннадцати железно-шлаковых бугров конусообразной формы», обломков керамических трубок для подачи воздуха сообщил геолог Н.А. Чернюк, проводивший в конце 1950-х гг. практику для студентов географов в этом районе [3]. На основании наших находок на берегу оз. Шакшинское можно утверждать, что обнаружен новый центр железоделательного производства в Забайкалье, который относится к начальному периоду его освоения в XVIII в.

Другим важнейшим занятием жителей поселения был рыбный промысел. О том, что здесь шёл массовый отлов рыбы свидетельствует насыщенность культурный слоя костями рыб. Сам выбор места поселения был обусловлен наличием протоки, соединяющей озёра. Видимо использовались различные способы ловли рыбы. Заметим, что описание рыбной ловли на озёрах дал ещё первый ссыльный в Забайкалье протопоп Аввакум в своём «Житие». О занятии жителей поселения животноводством и охотой свидетельствует большое количество костей животных. Количество и характер находок свидетельствуют о длительности существования поселения, активной и разнообразной хозяйственной деятельности русского населения на этой территории. Возьмём на себя смелость утверждать, что это поселение возникло уже после экспедиции Мессершмидта и принадлежало Нерчинскому Успенскому монастырю. Отметим, что берега озёр продолжают активно осваиваться и требуется постоянный мониторинг состояния известных археологических памятников и необходим поиск новых.

В год 200-летия восстания декабристов нельзя не вспомнить, что сосланные в Забайкалье декабристы дважды побывали и в этих местах, двигаясь по Московскому тракту. Первый раз - на пути следования к месту отбытия наказания (Благodatка, Чита), второй – при пешем переходе из Читы в Петровский Завод в августе 1829 г. У школы в с. Беклемишево установлен памятный знак, посвящённый переходу декабристов из Читы в Петровский Завод. Об этом переходе имеются сведения в воспоминаниях декабристов, сюжеты перехода запечатлены в акварелях декабриста Н.А. Бестужева.

В статье отражены только отдельные сюжеты, связанные с историей исследования района Ивано-Арахлейских озёр. А история эта, как видно, насчитывает уже 300 лет и связана, в том числе и с академическими исследованиями. Данный район с развитием транспортной системы давно стал пригородным, с каждым годом растёт число отдыхающих и туристов, и они должны получать научную информацию о районе.

#### **Библиографический список**

1. Константинов А.В., Ячменёв О.Ю., Власенко Д.Е. Арахлейская писаница // Записки Забайкальского отделения Русского географического общества. Вып. 138. Чита: ИРО Забайкальского края, 2024. С. 5-15.
2. Константинов А.В. Возможности развития научного туризма (историко-географический аспект) в Забайкальском крае в районе Ивано-Арахлейских озёр // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: тр. IX Всерос. симпозиума с междунар. участием и XVI Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана. Чита: ООО «Экспресс-издательство», 2023. С. 175-177.
3. Чернюк Н.А. Телембинские срубные могилы и очаг древней металлургии // Ученые записки ЧГПИ. Вып. 4. 1959. С. 356-362.
4. Экспедиционный дневник Д.Г. Мессершмидта. Забайкалье. Май 1724 года – февраль 1725 года под ред. О.В. Корсуна, сост. Н.О. Викулова. Чита: Экспресс-издательство, 2024. 256 с.

УДК 631.48: 502.051 (571)

## Особенности почвообразования на разновозрастных породах Южного Приангарья по результатам научной экскурсии

Людвиг У.И., Козлова А.А.

ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, e-mail: allak2008@mail.ru

**Аннотация.** Ключевой идеей научно-познавательной экскурсии на территории Южного Приангарья является рассмотрение влияния разных почвообразующих пород на почвенные свойства и процессы.

**Ключевые слова:** геология, геоморфология, разнообразие почв, карбонатные и гипсоносные отложения, крио- и палеокриогенез

## Features of soil formation on rocks of different ages in the Southern Angara region based on the results of a scientific excursion

Ludwig U.I., Kozlova A.A.

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, e-mail: allak2008@mail.ru

**Abstract.** The key idea of the scientific and educational excursion through the territory of the Southern Priangarye is to examine the influence of different soil-forming rocks on soil properties and processes.

**Keywords:** geology, geomorphology, soil diversity, carbonate and gypsum-bearing deposits, cryo- and paleocryogenesis

**Географическое положение, геоморфология и геология.** На территории Южного Приангарья регулярно проходят научные экскурсии, приуроченные к проведению конференций, посвященных образованию кафедры почвоведения Иркутского государственного университета. Данная научная экскурсия была приурочена к конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ.

Термин «Южное Приангарье» стал применяться в научной литературе еще в 1930-е годы и под ним понимают территорию верхнего течения р. Ангары, протяженностью около 300 км [5].

Маршрут научной экскурсии имеет протяженность около 320 км и включает в себя пять участков: Иркутск – Ангарск, Ангарск – Мальта, Мальта – Черемхово, Черемхово – Залари, Залари – Балаганск, с конечной остановкой на «Ангарской биостанции» биолого-почвенного факультета Иркутского государственного университета в пос. Балаганске Иркутской области (рис. 1).



А



Б

Рисунок 1. Схема маршрута полевой научно-познавательной экскурсии: А – маршрут полевой экскурсии Иркутск – Балаганск; Б – схема расположения Южного Приангарья с элементами орографии (автор С.Л. Куклина) [5]

Территория, по которой проложен маршрут экскурсий, находится в пределах южной пониженной части Среднесибирского плоскогорья [1], которая на данном участке представлена в основном Иркутско-Черемховской равниной (маршруты от г. Иркутска до пос. Залари) и только участок с. Нукуты – пос. Балаганск относится к окраине Лено-Ангарского плато (рис. 2).



Рисунок 2. Иркутско-Черемховская равнина: А – выходы нижнекембрийских известняков и доломитов по левому поднятому борту долины р. Белой. Вдали – плосковершинная поверхность Иркутско-Черемховской равнины. Б – пологоволнистый рельеф в районе распространения юрских пород на участке Черемхово – Забитуй (фото С.Л. Куклиной) [5]

Иркутско-Черемховская равнина – это зона прогиба, отстававшая в поднятиях от Среднесибирского плоскогорья и обрамляющих его гор. Отставание в интенсивности поднятий частично компенсировалось накоплением здесь толщ юрских и кайнозойских осадков. Имеет длину около 130 км, а ширину 20-25 км. Она характеризуется холмисто-увалистым рельефом с высотой плоских поверхностей междуречий 500-650 м, слабо расчлененным неглубокими долинами. На дне долин крупных рек минимальные отметки падают до 400-420 м, поэтому относительные высоты составляют 120-150 м [3]. Южная граница Иркутско-Черемховской равнины идет вдоль подножья горных массивов Восточного Саяна и четко выражена в рельефе в виде крутого тектонического уступа. Северная граница проходит в 20-40 км северо-восточнее Транссибирской железнодорожной магистрали и параллельно ей. Здесь граница равнины выражена не столько по рельефу, сколько по смене буровато-желтых юрских пород красноцветными породами верхнего кембрия. Здесь начинаются первые поднятия Лено-Ангарского плато [5].

В продольном направлении Иркутско-Черемховская равнина делится на две впадины: Предсаянскую (Предсаянский предгорный прогиб) – наименее расчлененную часть, примыкающую к подножью Восточного Саяна, и Иркутскую впадины – более расчлененную, охватывающую северо-восточную часть равнины.

Предсаянская впадина – это зона не только древней, но и современной аккумуляции. Непосредственно у подножья гор рельеф представлен озерно-аллювиальной наклонной равниной, сложенной мощной толщей озерных и аллювиальных отложений неогенового и четвертичного возраста, образованной слившимися внутренними дельтами рек, стекающих с гор Восточного Саяна. К северу от подножья Восточного Саяна (ближе к долине р. Ангары) рельеф приобретает вид равнины с плоскими слабо расчлененными междуречьями.

Иркутская впадина – зона мезозойской (преимущественно юрской) аккумуляции. В настоящее время здесь преобладают эрозионные формы рельефа. Междуречья приобретают пологоволнистые и округлые формы. Повышенные формы рельефа сложены юрскими породами, из-под которых в долинах рек местами выходят породы палеозойского возраста. В долине р. Белой из-под юрских песчаников вскрываются бело-серые породы нижнего кембрия, в долинах рек севернее р. Белой – красноцветные породы верхнего кембрия.

Лено-Ангарское плато – плоскогорье, расчлененное сетью речных долин. Долины рек Унги и Осы заложены почти напротив друг друга со смещением по разлому, поперечному долине р. Ангары. Южная часть плато сложена красноцветными породами верхнего кембрия, которые имеют слабое моноклиальное падение в северном направлении. Почти горизонтальное залегание пород при неоднородной прочности литологических пластов определяет ступенчатый структурно-денудационный характер рельефа склонов и платообразный характер водоразделов (рис. 3).



Рисунок 3. Лено-Ангарское плато. А – педимент (Гора Хашхай) в Нукутском районе. Б – придолинная (неогеновая) поверхность выравнивания (Нукутский район) (фото Н. А. Мартыновой) [5]

Особенностью рельефа этого участка Лено-Ангарского плато являются педименты – ступени в рельефе, являющиеся результатом неравномерной скорости поднятия плато. Морфологически педименты похожи на речные террасы (рис. 3, А), но их формирование обусловлено не деятельностью рек, а различием скоростей денудации в условиях смены периода тектонического покоя периодом активизации восходящих движений. Поверхности педиментов обрываются крутыми, часто скалистыми склонами к речным поймам. Склоны изрезаны оврагами, заканчивающимися на пойме конусами выноса.

Педименты – это локальные формы рельефа, которые можно рассматривать как элементы начальных фаз формирования поверхностей выравнивания. В рельефе Южного Приангарья вдоль долин крупных рек на относительных отметках 150-200 м можно видеть неогеновую поверхность выравнивания, которая получила название «придолинной» (рис. 3, Б). Вглубь Лено-Ангарского плато на относительных отметках более 400 м сохраняются фрагменты более древних – мелпалеогеновых и доюрских поверхностей выравнивания.

**Почвообразующие породы.** Современное почвообразование в Южном Приангарье, на участках с расчлененным рельефом, развивается на делювии и лессовидных (эолово-делювиальных) отложениях. Они почти сплошным плащом различной мощности покрывающие склоны и водоразделы. Делювий в районе Иркутско-Черемховской равнины представлен дериватами юрских песчаников и алевролитов, которые характеризуются супесчано-легкосуглинистым составом и бескарбонатностью. Делювий нижне- и верхнекембрийских пород, обнажающихся в бортах речных долин, и делювий на склонах Лено-Ангарского плато характеризуется суглинистым составом и высоким содержанием карбонатов, иногда гипса [1].

Лессовидные отложения имеют преимущественно эоловоделювиальный генезис. Они представлены карбонатными светлыми пылеватыми суглинками различных оттенков, зависящих от окраски коренных пород. Лессовидные образования приурочены к долине Ангары и ее крупных притоков, где они покрывают надпойменные террасы и прилегающие части склонов. На низких междуречьях Присаянской части равнины, почвообразование развивается на песчано-супесчаных древних и современных озерных и аллювиальных бескарбонатных отложениях [5].

Таким образом, на рассматриваемой территории преобладают почвообразующие породы, содержащие карбонаты: 1) лессовидные отложения по долинам рек, покрывающие надпойменные террасы и наветренные склоны; 2) делювий кембрийских пород на Лено-Ангарском плато и на Иркутско-Черемховской равнине по бортам глубоко врезанных речных долин. Карбонатность почвообразующих пород оказывает большое влияние на многие аналитические показатели почв, во многом определяя их специфику. Бескарбонатные почвообразующие породы распространены преимущественно в Предсаянье (аллювиальные и озерные отложения) и на участках равнины, где юрские породы не перекрыты плащом лессовидных (вершины водоразделов и заветренные склоны).

**Климат. Крио- и палеокриогенез.** Климат региона резко-континентальный, что предопределяется положением региона в центре Азиатского материка, орографической изоляцией и большим влиянием Сибирского антициклона. Максимум атмосферных осадков (700-800 мм/год) получают горные системы Восточного Саяна и Приморского хребта. На Иркутско-Черемховской равнине выпадает значительно меньшее количество осадков – вершины водоразделов получают 350-400 мм/год, а минимальное их количество приходится на долины крупных рек (300-250 мм/год) [4].

Южное Приангарье относится к зоне умеренного увлажнения с коэффициентом увлажнения 0,8-1,0. Преобладание испарения над осадками в целом препятствует оподзоливанию почв и активной поверхностной эрозии склонов. Однако неравномерность выпадения осадков в течение года, а также по годам (в отдельные годы до 700 мм) приводит к усилению выщелачивания почв и развитию поверхностной эрозии в августе – сентябре. Средние температуры июля – 14-17 °С, января – -20...-25 °С. Среднегодовые температуры в различных частях региона колеблются от -1 до -4 °С, отепляющее влияние на прилегающие территории оказывают водные массы оз. Байкал, Иркутского и Братского водохранилищ. Продолжительность безморозного периода равняется 73-98 дня. Сумма биологически активных температур (выше 10 °С) составляет от 1200 до 1800 °С [1].

Криогенез является одним из значимых факторов формирования микроструктуры почвенного покрова в Южном Приангарье. Однако это явление не уникально. На обширных пространствах проявляются следы естественного нарушения поверхности в виде блоков, полигонов, бугров различного размера. Там, где рыхлые отложения имеют высокое содержание грубозернистых фракций, бугры и западины небольшие, их диаметр составляет около 5-10 м, превышение над западинами – от 0,5 до 1,5 м. В местах с мощным чехлом рыхлых суглинистых отложений диаметр бугров может достигать от 15 до 20 м, а высота – 2-3,5 м [3].

Криоморфную стадию формирования подобных форм микрорельефа относят к позднему плейстоцену, когда перигляциальные условия способствовали образованию трещинно-полигональных структур, заполненных жильным льдом [2, 4]. В голоцене мерзлота деградировала и на месте полигонов, там, где влаги было много, образовались бугры, а при малом ее количестве – остались полигоны. В «ослабленных» зонах пересечения трещин-замков идет инфильтрация поверхностных вод, развивается термокарст, солифлюкция, выщелачивание и суффозия. Образовавшиеся после вытаивания льда пустоты заполнялись почвенным материалом, снесенным с соседних бугров, что способствовало формированию палеокриогенных структур – псевдоморфоз по повторножильным льдам, на поверхности проявленных в виде западин. В настоящее время наблюдается посткриогенная фаза развития палеокриорельефа, когда все его формы становятся реликтами, не отвечающим современным климатическим условиям данного региона.

**Растительный и почвенный покров.** По типу растительности территорию Южного Приангарья можно разделить на три ландшафтных района: таёжный (от истока р. Ангары до г. Иркутска), лесостепной (от г. Иркутска до устья р. Унги), степной (от устья р. Унги до устья р. Уды). Благодаря низкой испаряемости, даже при малом количестве осадков, влаги достаточно для широкого развития таёжной растительности. Основными лесообразующими породами южной тайги являются сосна, лиственница, береза, осина, в горной части – кедр.

Коренные сосняки (с покровом из брусники и зеленых мхов, травяные, с ярусом рододендрона, ольхи) вблизи населенных пунктов, замещены вторичными березовыми и осиново-березовыми лесами. Тёмнохвойная тайга тяготеет к Предсаянью. По долинам крупных рек широко распространены лесостепные и степные массивы. Лесостепные участки представляют чередование степей и березовых, березово-осиновых лесов с хорошо развитым травяным покровом, на вырубках произрастает осина. Степные участки заняты вострецовыми, осоковыми и клубничными луговыми степями в сочетании с остепненными лугами. На надпойменных террасах рек – волоснецовые, чиевые и полынные сазовые степи [1].

На основе сочетания факторов почвообразования и натурных исследований составлены ландшафтная и почвенная карта Южного Предбайкалья с помощью программы Quantum-GIS путем интерполяции точек почвенного опробования с использованием методов ландшафтной индикации. В качестве индикационных характеристик были взяты морфометрические параметры рельефа, определяющие перераспределение тепла и влаги. Сопоставление ландшафтной и почвенной карт показало что под однотипной растительностью развиваются разнотипные почвы, что связано с резкой сменой состава почвообразующих пород на северо-востоке региона с юрских низко- или бескарбонатных на кембрийские высококарбонатные [4].

К особенностям почв на кембрийских породах и их дериватах можно отнести повсеместное наличие карбонатов, достаточно частое присутствие гипса и реже легкорастворимых солей в профиле. Почвы на нижнекембрийских отложениях часто супесчано-среднесуглинистые со значительным участием фракций крупной и средней пыли в гранулометрическом составе. Почвы на верхнекембрийских отложениях – более «тяжелые» – от среднесуглинистых до глинистых, с высоким содержанием илистой фракции. Специфической особенностью почв на продуктах выветривания верхнекембрийских пород является красный оттенок в окраске горизонтов, обусловленный повышенным содержанием в них гётита и гематита. Почвы на юрских породах и продуктах их разрушения, в основном, бескарбонатные, легкосуглинистые с преобладанием пылеватых фракций в гранулометрическом составе. Под лесами в профиле часто обнаруживаются железистые и железисто-марганцевые новообразования. Кайнозойские отложения приурочены ко всем отрицательным формам рельефа, в том числе долинам рек [5].

Совместное влияние лито- и климатической неоднородности, привели к формированию в Южном Предбайкалье почв текстурно-дифференцированного (дерново-подзолистые, дерново-буро-подзолистые, серые типичные), структурно-метаморфического (буроземы оподзоленные и остаточно-карбонатные, серые метаморфические), гумусово-аккумулятивного (черноземы глинисто-иллювиальные и дисперсно-карбонатные), аккумулятивно-карбонатного (каштановые) отделов постлитогенного ствола [3].

В целом, можно отметить, что почвенный покров Южного Приангарья весьма разнообразен. Морфология почв и их свойства зависят от генезиса отложений (аллювиального, эолового, делювиального, пролювиального, элювиального и др.). Региональной спецификой почвообразования является то, что профиль большинства почв сформировался за счет наложения одних горизонтов на другие. Они, в свою очередь, характеризуются различиями в скорости и интенсивности, протекающих в них процессов выветривания и почвообразования. В связи с суровостью климата почвообразовательные процессы в почвах региона заторможены. Их формирование связано скорее с литогенной неоднородностью, сменой почвообразующих пород, а не с почвообразованием.

#### **Библиографический список**

1. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М.; Иркутск, 2004. 90 с.
2. Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М. Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. М.: Наука, 1996. 150 с.
3. Козлова А.А. Разнообразие почв Южного Предбайкалья в условиях палеокриогенного микрорельефа, их трансформация при агропедогенезе: Автореф. дисс. докт. биол. наук: 03.02.13 / Козлова Алла Афонасьевна. Иркутск, 2021. 44 с.
4. Козлова А.А., Белозерцева И.А., Лопатина Д.Н. Почвы Южного Предбайкалья: разнообразие и закономерности распространения // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 103-114.

5. Куклина С.Л., Воробьева Г.А., Козлова А.А., Киселева Н.Д., Лопатовская О.Г., Мартынова Н.А., Коршунова С.В. Южное Приангарье: особенности почвообразования на разновозрастных породах: путеводитель экскурсии к конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения ИГУ. Иркутск: Издательство ИГУ, 2021. 71 с.

УДК 549+901.2 +338.482 (571.04)

## **Титовская сопка – геологический и туристический бренд Забайкалья**

*Салихов В.С., Трубачев А.И.*

Действ. члены Российского минералогического общества, Чита Россия trubachev1704@gmail.com

**Аннотация.** Титовская сопка – важнейший туристический объект Читы и Забайкалья, где установлены многочисленные следы деятельности древнего человека. С геологической точки зрения Титовская сопка — это древний стратовулкан, ныне являющийся неотектонической постройкой, представляющий собой пятикилометровый двухвершинный хребтик, отделенный рекой Ингодой по тектоническому разлому от хр. Садовского. Только небольшая часть строений г. Читы расположена на триасовых вулканогенных породах сопки, а не «спящем вулкане», а главная сосредоточена на неоплейстоценовых флювиально-гляциальных озерно-аллювиальных песках.

**Ключевые слова.** Титовская сопка, туристический и геологический объект, стратовулкан, неотектоническая постройка, озерно-аллювиальные пески.

## **Titovskaya Sopka is a geological and tourist brand of Transbaikalia**

*Salikhov V.S., Trubachev A.I.*

Action. Members of the Russian Mineralogical Society

**Annotation.** Titovskaya Sopka is the most important tourist site in Chita and Transbaikalia, where numerous traces of ancient human activity have been found. From a geological point of view, Titovskaya Sopka is an ancient stratovolcano, which is now a neotectonic structure, representing a five-kilometer two-peak ridge separated by the Ingoda River along a tectonic fault from the Cr. Sadovsky. Only a small part of Chita's buildings are located on the Triassic volcanogenic rocks of Sopka, rather than a "dormant volcano", and the main one is concentrated on the Neo-Pleistocene fluvial-glacial lake-alluvial sands.

**Keywords.** Titovskaya Sopka, tourist and geological site, stratovolcano, neotectonic structure, lake-alluvial sands.

Титовская сопка, расположенная на юго-западной окраине г. Читы, привлекает к себе внимание многих специалистов: геологов, археологов, краеведов, этнографов, биологов, ботаников, географов: А.К. Кузнецов, Е.И. Титов, А.И. Махалов, А.П. Окладников, В.Д. Запорожская, М.И. Рижский, С.Н. Астахов, И.И. Кириллов, Е.В. Ковычев, Н.Н. Гераков, Н.Н. Чабан, Б.И. Дулепова, О.В. Корсун, А.В. и М.В. Константиновы, О.Н. Попова, С.М. Синица, П.В. Мороз, Г.А. Юргенсон, В.С. Салихов и др. [1 - 6].

В научных и научно-популярных статьях Титовская сопка определяется как: «небольшой горный массив – палеовулкан – палеостратовулкан [4]»; «комплекс разновременных археологических памятников [1]»; «горный массив – ценная природно-историческая территория – комплексный геологический памятник природы местного статуса [3]»; «горный массив – стратовулкан триасового возраста - комплексный памятник природы и древней истории в пределах Читы, которому следует присвоить статус особо охраняемой природной территории или учебно-научного стационара [5]», как неотектоническое сооружение вне какой-либо связи с вулканизмом [6].

Археологи и краеведы на Титовской сопке открыли немало объектов, свидетельствующих о поселениях первобытных людей Забайкалья, обнаружили стоянки древних людей, культовые места древних погребений, относящихся по возрасту от среднего палеолита до начала 18 века [1], а по данным А.П. Окладникова в районе Сухотино найдены наскальные рисунки, ритуальные сооружения дворцовой культуры и культуры плиточных могил, то есть это памятники средневековых культур – бурхотуйской и ундугунской [1,3].

У подножия Титовской сопки проходит «Московский тракт, находятся: памятник П.Е. Столярову, А.А. Костюшко-Григоровичу и другим расстрелянным руководителям Читинской Республики, часовня А. Невского на смотровой площадке, «муруговские дачи», места отдыха на р. Ингода и у Сухотинских скал, картофельные огороды и читинское кладбище. Все это представляет большой интерес для местных и приезжих туристов.

Но, пожалуй, самое важное для них и для специалистов, знать, что представляет собой Титовская сопка, как геологический объект. Многие специалисты считают, что Титовская сопка – это вулкан или стратовулканическая постройка, сформированная более 200 млн. лет назад. Желание показать, что Титовская сопка — это вулканическая постройка, настолько велико, что даже губернатор Забайкальского края А.М.Осипов, будучи в Москве, представил Читы «городом на спящем вулкане».

Из анализа материалов геологической карты масштаба 1:200000 (лист N-49-XXXVI – Чита [2] видно, что вулканогенные породы на данной территории развиты в составе двух свит:

а) позднепермская (265-251 млн. лет) тамирская (мощностью 450 м.), сложенная лавами, ксенокластолавами, метатрахибазальтами, метабазальтами, мпетаандезитами, метариолитами и метабазальтами (это породы состава от кислых до основных) и развита на северо-западных склонах Яблонового хребта;

б) раннетриасовая (251- 247 млн. лет) цаган-хунтейская (мощностью 350 м.), сложенная лавами, ксенокластолавами, трахиандезитами, трахидацитами, реже трахириолитами с прослоями базальтов, туфов, туфобрекчий и ингнимбритов (это средние и кислые породы), развитая на хребте Черского в районе Титовской сопки и в верховьях Никишихи, а на Яблоновом хребте в его северо-восточной части в районе Саранакана и левобережья р. Байца. Таким образом, вулканогенная деятельность на хребтах Яблоновом и Черского началась 265 млн.лет назад и закончилась –241 млн. лет, т.е. продолжалась около 25 млн. лет.

В районе Титовской сопки формирование вулканогенных пород шло в вулканоплутоническом поясе в вулканотектонической структуре центрального типа [2]. Породы цаган-хунтейской свиты залегают на раннепротерозойских диоритах и гранодиоритах джидинского интрузивного комплекса и ороговикованы под воздействием гранитов и сиенитов раннетриасового куналейского комплекса [2,5]. Верхняя часть Титовской сопки на её нижних склонах сложена раннемеловыми (144-113 млн.лет) отложениями доронинской свиты: алевролиты, аргиллиты, песчаники, углистые аргиллиты, редко конгломераты.

Горный массив «Титовский» представлен двумя известными точками с абсолютными отметками 945 м. (гора Титовская) и 780 м. (Титовская сопка). Анализ геоморфологической обстановки этого горного сооружения показывает, что правильнее это сооружение называть хребтом Титовским (протяженностью до 5 км. северо-восточного направления, а гора Титовская как «стратовулкан», часть этого хребта). Хребет является логическим продолжением известного здесь хребта Садовского, что расположен юго-западнее. Этот единый в прошлом хребет был нарушен (под действием тектоники – разрывные нарушения) водным потоком р.Ингода, где сформировалась сквозная долина, которая по-научному носит название «антецедентная» (когда скорость врезания русла в поднятие соответствует скорости воздымания рельефа) (рис. 1). Следы же роста горного массива Титовская сопка видны на ее склоне в виде аллювия («инстративной фазы» по-научному). Здесь же образована излучина (меандра), которая опоясывает Титовскую сопку (рис. 2).

Сообщение же «город Чита» «на спящем вулкане» можно сменить реальной ситуацией - «город Чита на песчаной гряде». Действительно, как показал известный геолог Забайкалья Фарид Еникеев, существовало забайкальское ледниково-подпрудное озеро, что было единожды в самаровское время, во время покровного оледенения 220-290 тыс. лет назад. О существовании таких озер, в том числе в Забайкалье, сообщали известные классики, такие, как И.Д.Черский, В.А.Обручев. Прибрежная аккумуляция мощных толщ песков в озеро происходила и в бассейнах р. Ингода, а в настоящее время они представляют собой песчаные массивы, фрагменты которых можно наблюдать в окрестностях г. Чита. На одном из них

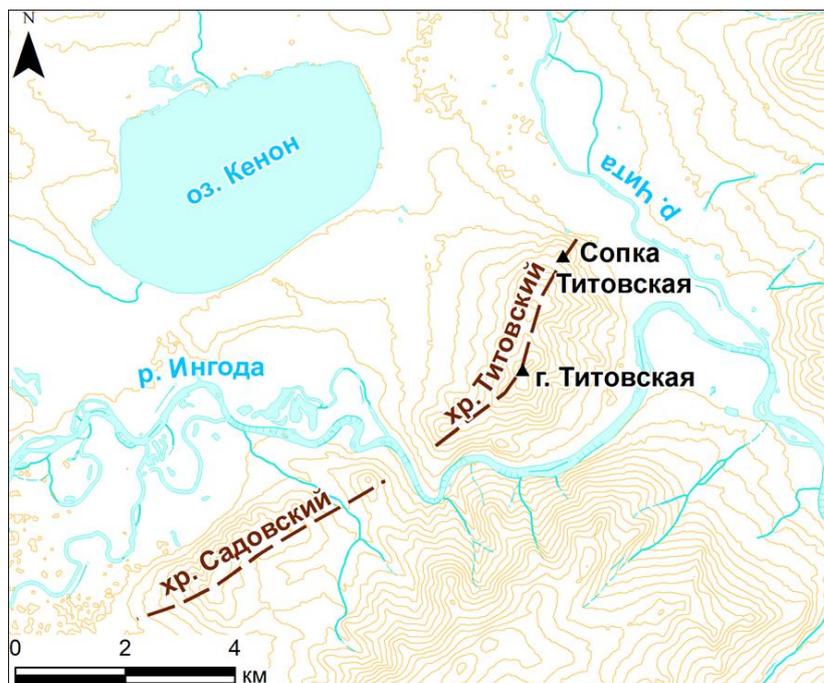


Рисунок 1. Схема расположения хр. Титовского и Садовского

стоит краевой центр, т.е. г. Чита не на «спящем вулкане», как трактуется, а на песчаном массиве. Такое положение города позволило известному писателю Георгию Граубину назвать Читу «общегородской песочницей».



Рисунок 2. Сквозная долина р. Ингода, пересекающая хр. Титовский и Садовского

Таким образом, с геологической точки зрения Титовская сопка – это неотектоническая постройка в виде пятикилометрового двухвершинного хребтика, сложенного вулканогенными породами раннетриасовой цаган - хунтейской свиты, являющегося продолжением хр. Садовского, между которыми по тектоническому разлому в сквозной долине протекает река Ингода; город Чита располагается не на вулкане, а на огромном песчаном массиве, сформированного в самаровское время в ледниковом озере, куда сносились с окружающих гор разрушенные породы; с туристической точки зрения Титовская сопка – это крупнейший в Забайкалье природно-исторический комплексный памятник, это

музей под открытым небом на территории 750 га(бренд), сопоставимый по своей значимости с другими территориями России.

#### **Библиографический список**

- 1.Кириллов И.И. Титовская сопка //Энциклопедия Забайкалья. Читинская обл. Гл. ред Р.Ф.Гениатулин, Новосибирск:Наука, 2006, с.146.
2. Пехтерев С.Н., Герасимов Е.П., Кунько Г.Г. Геологическая карта масштаба 1:200000, лист N-49-XXXVI - Чита, Л:2000.
- 3.Синица С.М., Константинов М.В. Титовская сопка // Малая энциклопедия Забайкалья: Природное наследие. Гл. ред. Р.Ф.Гениатулин, Новосибирск: Наука, 2009, с. 546-548.
- 4.Синица С.М., Юргенсон Г.А.,Дулепова Е.И. и др. Титовская сопка // Энциклопедия Забайкалья. Чита. Гл. ред. А.Д.Михалев, Новосибирск: Наука,2014, с. 505 – 507.
5. Юргенсон Г.А.,Мороз П.В., Корсун О.В. Стратовулкан Титовская сопка как комплексный памятник природы в древней истории в пределах г. Чита// Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Тр. IX Всерос. Симпозиума и XVI Всероссийских чтений памяти академика А.Е.Ферсмана: ИПРЭК СО РАН. Чита: ЗабГУ, 2023, с. 187 – 193.
- 6.Салихов В.С. Является ли Титовская сопка вулканом (Восточное Забайкалье) // Вестник ЗабГУ, 2022, № 1, с. 140- 144.

**Из недр земли в культурное и образовательное наследие:  
экспозиция природного камня в музейном центре города Сегежи**

*Кузьминых Е.Н.<sup>1</sup>, Щербаклова Д.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО "УК "Горное управление ПО "Возрождение", Выборг, Россия, elen13@mail.ru

<sup>2</sup>МБУ «Музейный Центр г. Сегежи», г. Сегежа, Республика Карелия, segezha-museum@mail.ru

**Аннотация.** На примере выставки "Хроники земной коры: от архея до кайнозоя", проведенной в Музейном центре города Сегежи (Республика Карелия), показано, что экспозиции геологического содержания представляет собой мощный инструмент для привлечения туристов и повышения их интереса к геологии и естественным наукам, платформу для образовательных программ.

**From the Depths of the Earth to Cultural and Educational Heritage:  
An Exhibition of Natural Stone at the Museum Center of Segezha**

*Kuzminykh E.N., Shcherbakova D.A.*

<sup>1</sup>LLC "Mining Management Company of the VOZROZHDENIE Industrial Association", Vyborg, Russia, elen13@mail.ru

<sup>2</sup> Municipal budgetary institution "Museum Center of Segezha", Segezha, Republic of Karelia, segezha-museum@mail.ru

**Abstract.** Using the example of the exhibition "Chronicles of the Earth's Crust: from the Archean to the Cenozoic", held at the Museum Center of the city of Segezha (Republic of Karelia), it is demonstrated that geological exhibitions serve as a powerful tool for attracting tourists and increasing their interest in geology and the natural sciences, a platform for educational programs.

Земля – удивительная планета, которая постоянно находится в движении. Геологические процессы – магматизм, метаморфизм, тектоника, эрозия и многие другие постоянно меняют ее облик, создавая разнообразные ландшафты. Непрерывно происходящие геологические события делают планету уникальной и разнообразной, обеспечивают ее богатство и красоту.

Погрузиться в мир геологии и познакомимся с основными разновидностями минералов и горных пород можно разными путями – читая литературу, посещая экскурсии к геологическим памятникам природы, на заброшенные и действующие карьеры, и просто в ходе поездок и походов по разным местам планеты, история которой насчитывает более четырех миллиардов лет. Рассказать о таком огромном промежутке времени и всех его событиях кратко и понятно – непростая задача, но можно создать особенную, геологическую биографию Земли, собрав множество различных экспонатов и разместив их в музейных залах.

Современные музеи являются важными центрами туризма с целью культурной и образовательной деятельности. Среди них особое место занимают краеведческие, которые, сохраняя и демонстрируя культурное наследие региона, также могут открывать перед посетителями богатства природы.

Экспозиции, посвященные природному камню, становятся магнитом для привлечения местных жителей и туристов, стремящихся узнать больше о недрах планеты и уникальных геологических особенностях своего региона. В рамках музейных экспозиций, посвященных природному камню, посетители могут познакомиться с разнообразием минералов и горных пород, условиями их формирования и значением в жизни человека. Такие выставки – это платформа для образовательных программ, ориентированных на различные возрастные группы.

Республика Карелия – твердокаменный озерно-лесной край с живописными скалами, водными гладями и таёжными массивами не может оставить равнодушными ни тех, кто здесь живет, ни тех, кому посчастливилось здесь побывать.

Беломориды, карелиды, свекофенниды, ятулий, рифей, венд, морена, камы, озы, зандры, сельги – эти геологические термины звучат как магические заклинания, в которых заключены шифры к открытию богатств и красоты природы.

Минералогическое и петрографическое богатство недр республики можно изучить в музеях Петрозаводска и в краеведческих музеях отдельных районных центров. а вот в самом центре Карелии, Сегежском районе, каменной экспозиции до последнего времени не было.

Весной 2025 года в Музейном центре г. Сегежи проходила выставка под названием: "Хроники земной коры: от архея до кайнозоя", организованная авторами статьи, на которой при помощи коллекции минералов и горных пород Республики и многих других регионов планеты, картографических материалов, фотографий, информационных стендов, литературы, интерактивных презентаций, геологического инвентаря и приборов, можно было стать частью путешествия в геологическом времени. На выставке кроме геологических образцов также были представлены полированные плитки, изделия и сувениры из природного камня, небольшой образец Челябинского метеорита.

Одна из витрин музея порадовала посетителей коллекцией шаров, вырезанных из разнообразных минералов и горных пород. Каждый шар — это не просто камень, а история, запечатленная в форме, текстуре и цвете. Гладкие поверхности шаров, олицетворяющие прочность и красоту земных недр, передавали посетителям ощущение величия и стабильности, пробуждая воображение. Изображение «маленьких каменных планет» на афише выставки послужило прекрасной приманкой для ценителей натуральной красоты.



Рисунок 1. Фрагмент афиши выставки

При помощи размещенной рядом с каменной экспозицией геохронологической шкалы посетители могли ощутить не только красоту, но и понять глубокую связь с землей и временем, из которого эти камни пришли.

Выставка привлекла большое внимание жителей города и туристов. Конечно, не каждому хотелось разбираться в сложной терминологии, которая применяется для отражения геологической истории, но даже просто глядя на пестрые, замысловатые «лоскутные» рисунки геологических карт и самих камней, на количество их цветов, оттенков, можно было понять, какой насыщенной и сложной является геологическая жизнь планеты.

Особое внимание автор выставки уделила экспонатам, связанным с Республикой Карелия. Местные жители смогли увидеть знакомые породы, которые напомнили о том, что под их ногами скрыта целая история, рассказывающая о древних процессах, которые происходили задолго до появления человека. Подиум, где на административной карте были размещены образцы, характеризующие богатство недр республики, занял центральное место в одном из залов. Среди рядовых горных пород, слагающих территорию, были представлены известные полезные ископаемые республики — кварц, слюды, железная и медная руды, шунгит, графит, многочисленные облицовочные камни — гранит, габбро, мрамор, кварцит.



Рисунок 2. Подиум с образцами горных пород и руд Республики Карелия

О главной достопримечательности Сегежского района - Воицком медно-золотом месторождении, которое является историческим памятником и объектом горно-геологического наследия Карелии, было рассказано не только в образцах и фотографиях, но и в отдельной презентации. Кто-то, возможно, ощутил гордость за свою землю и её богатое геологическое наследие, кто-то почувствовал себя частью этой огромной системы, где человек — всего лишь мгновение в бесконечном потоке времени.

Природные камни Забайкальского и Алтайского краёв, Урала, Кавказа, Центральной России дополнили палитру карельских образцов и очаровали посетителей своей яркостью, углубили понимание геологии, наполнили уважением к недрам России и её многообразию.



Рисунок 3. Образцы природного камня из различных регионов России

В двух витринах выставки были также представлены горные породы и минералы по странам Азии, Южной Америки, Африки, где побывала автор выставки.

Выставка продемонстрировала разнообразие минералов и горных пород, которые используются в строительстве, промышленности и быту. Информация о том, как и где были обнаружены те или иные образцы, помогла создать связь между теорией и реальной практикой.



Рисунок 4. На мраморном обнажении. Бенин.

Фотоматериалы дополнили представление об особенностях тех месторождений, откуда привезены образцы. Инструменты, приборы, защитное снаряжение, и еще многое, что нужно геологу для полевых работ, а горняку- для добычи камня, открылось посетителям выставки за дверцами шкафов и на фотографиях. Они смогли также полюбоваться видами камнедобывающих карьеров, шедевров камнерезного искусства, пейзажами горных парков на месте отработанных месторождений.



Рисунок 5. Малахитовая ваза.  
Государственный Эрмитаж. СПб

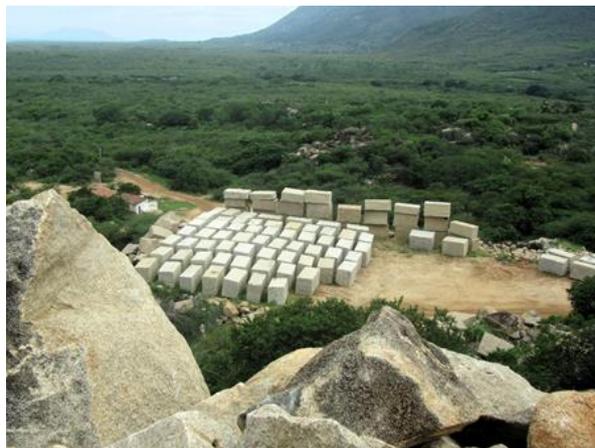


Рисунок 6. Карьер по добыче гранита. Бразилия.  
Штат Форталеза



Рисунок 7. Горный парк «Рускеала». Штольня. Карелия.

По мнению авторов, подобные музейные экспозиции природного камня представляют собой мощный инструмент для привлечения туристов и повышения их интереса к геологии и естественным наукам. Такие экспозиции могут подсказать туристические маршруты, включая элементы активного отдыха, экскурсии на действующие и отработанные месторождения, подтолкнуть к коллекционированию минералов, наблюдениям за геологическими особенностями региона.

Музейная выставка "Каменные хроники земной коры от Архея до Кайнозоя" была не только увлекательным путешествием по геологической истории Земли, но и важной образовательной платформой. Ниже перечислены ключевые аспекты, которые подчеркивают её образовательную ценность выставки.

### 1. Интерактивность

Выставка включала элементы, позволяющие посетителям самостоятельно исследовать различные геологические процессы. Использование сенсорных экранов и интерактивной песочницы позволяло расширить возможности изучения информации о породах, а также проводить простые эксперименты, связанные с геологией и смежными науками.

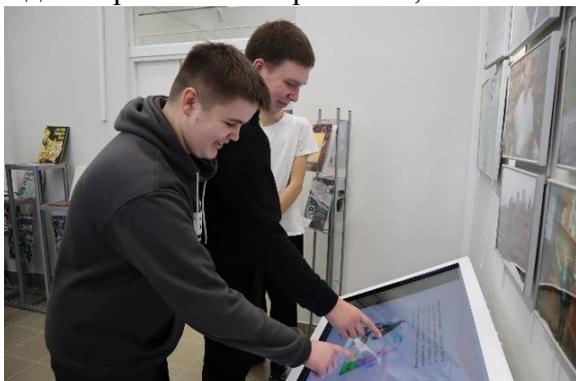


Рисунок 8. Работа с сенсорными экранами



Рисунок 9. Работа с интерактивной песочницей

### 2. Образовательное назначение

Музейными сотрудниками были разработаны программы с учетом возрастных особенностей участников, направленные на углубление знаний о геологии, экологии и истории Земли, включающие экскурсии и мастер-классы. Многие вдруг вспомнили, что восхищались камнями в детстве и собирали их в карманы, а кто-то из школьников вдруг осознал, что увлекательный мир камней может стать профессией на всю жизнь.



Рисунок 10. Мастер-класс по созданию аромакамня из гипса



Рисунок 11. Экскурсия на выставке

### 3. Кросс-дисциплинарный подход

Выставка охватывала не только геологию, но и смежные науки, такие как биология, экология и климатология. Это позволило посетителям увидеть взаимосвязи между

различными аспектами науки и понять, как изменения в земной коре влияют на жизнь на планете.

#### **4. Научные исследования и лекции**

В рамках выставки инженер-геолог Елена Кузьминых проводила авторские лекции, на которых делилась своими знаниями о последних открытиях в области геологии и экологии. Это создавало возможность для живого диалога между специалистом и посетителями.



Рисунок 12. Фотоархив лекций в рамках выставки

#### **5. Развитие критического мышления**

Посетители выставки имели возможность анализировать информацию, задавать вопросы и обсуждать различные аспекты геологической истории. Это способствовало развитию критического мышления и научного подхода к изучению окружающего мира.

#### **6. Ресурсное и экологическое сознание**

Выставка акцентировала внимание посетителей на важности природных ресурсов и понимания их связи с экосистемами. Посетители смогли узнать о том, как геологические процессы влияют на климатические изменения, о влиянии деятельности человека на природу, что способствует формированию экологического сознания.

#### **7. Воспитание бережного и осознанного отношения к природе**

Природа современной Карелии — это удивительное сочетание живописных лесов, гор и каменных ландшафтов, создающих неповторимую красоту и умиротворяющую атмосферу. Особой мощью обладают каменные ландшафты. Скалы, обрамляющие озера и водопады, создают удивительные композиции, наполненные таинственным очарованием, накопленным за миллиарды лет.



Рисунок 13. Водопад Воицкий. Река Нижний Выг. Сегежский р-н. Карелия

Сидя на скале архейского возраста, здесь можно ощутить силу и мощь, древность и сложный характер нашей удивительной и гостеприимной планеты! А геологи - люди, влюбленные в камни и знающие о них больше других, через особое отношение к недрам могут поделиться этими знаниями и передать частицу любви к своей профессии.

Всего на выставке "Хроники земной коры: от архея до кайнозоя" было представлено около четырехсот экспонатов, большую часть из которых автор оставила в постоянную экспозицию Музейного центра, в подарок к его 45-летию.

Краеведческие музеи, имея такие постоянные экспозиции, акцентируя внимание на природном камне и геологии, могут не только привлекать туристов, но и делать важный вклад в образование и воспитание ответственного отношения к окружающему миру, к нашей планете, которая хранит в себе ключи к нашему прошлому, настоящему и будущему.

Такие экспозиции могут стать значительным аргументом для выбора мест для отдыха или путешествия. Ведь уникальные образцы, редкие минералы и геологические явления привлекательны не только для представителей науки, но и для любителей природы и путешествий.

Хочется надеяться, что подобные выставки и экспозиции будут не просто частью путешествий и экскурсий, но и для кого-то из молодых людей путеводной звездочкой.

## Подземный штаб Забайкальского фронта на Шерловой Горе

*Г. А. Юргенсон*

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита  
e-mail: yurgga@mail.ru

**Аннотация:** Статья посвящена событиям конца Второй мировой войны. В ней рассказывается о подземном штабе, который был организован для руководства Забайкальским фронтом, во время военных действий летом 1945 года. Штаб, находившийся в недрах Шерловогорского месторождения самоцветов (Шерловая Гора), был местом, откуда осуществлялось командование советскими войсками на Дальнем Востоке. Показан современный облик территории.

**Ключевые слова:** Шерловая Гора, Квантунская Армия, штаб, Вторая мировая война

## Underground headquarters of the Transbaikal Front at Sherlovaya Gora

*G. A. Yurgenson*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,  
ChitaEmail: yurgga@mail.ru

**Annotation:** The article is dedicated to the events at the end of World War II. It discusses the underground headquarters that was organized to lead the Transbaikal Front during military operations in the summer of 1945. The headquarters, located in the depths of the Sherlovoye Gemstone Deposit (Sherlovaya Mountain), served as the command center for the Soviet troops in the Far East. The modern appearance of the area is shown.

**Keywords:** Sherlovaya Hill, Kwantung Army, headquarters, World War II

В конце августа – начале сентября 1945 года разгромом Квантунской армии генерала Ямады завершилась Великая Отечественная и Вторая мировая война. Далеко не все знают, что руководство Забайкальским фронтом, разгромившим японскую военщину, осуществлялось из подземного штаба фронта, находившегося в недрах Шерловогорского месторождения самоцветов. Разграбленные остатки его находятся в подземных помещениях в теле Сопки Лукавая, а само это место именовалось Пятисоткой [3, 4].

Шерловая Гора занимает господствующее положение во всхолмленном рельефе степной зоны Юго-Восточного Забайкалья, чем определяется ее важное военно-стратегическое значение. Это и определило выбор Шерловой Горы Ставкой Верховного командования Красной Армией уже в самом начале Великой Отечественной войны, 15 сентября 1941, и принятия директивы о создании Забайкальского фронта с расположением его штаба в пос. Ширлова Гора, ориентированного на противодействие готовящегося наступления Квантунской армии милитаристской Японии. В период с 1941 до 1945 года войска фронта непрерывно строили оборонительные рубежи вдоль границы СССР с оккупированной Японией Маньчжурией.

В 1941—1943 годах в Маньчжурии и Корее размещалось 15-16 японских дивизий общей численностью около 700 тысяч человек. Противостоявшая им группировка советских войск была на начало Великой отечественной войны примерно такой же (703 714 человек). Но, несмотря на необходимость ведения тяжелых оборонительных боёв в европейской части страны, к июлю 1942 г. численность советских войск увеличилась до 1 446 012 человек. Это, безусловно, сдерживало японское командование от вступления в военные действия. При этом, часть войск оно вынуждено было переправить на Тихоокеанский фронт для борьбы с США [1].

Тем не менее, до разгрома войск фашистской Германии под Сталинградом опасность нападения Японии на Советский Союз была вполне ожидаемой. Японцы ждали поражения Красной Армии под Сталинградом и готовились к вступлению к войне, полагая, что Советское командование будет вынуждено оголить свои Восточные рубежи. Но после пленения армии Паулюса под Сталинградом необходимость в этом в определенной мере отпала и созданная на территории Китая Квантунская армия отказалась от вторжения на территорию Монголии, Забайкалья и Дальнего Востока.

Директивой ставки Верховного Главного Командования № 30156 27 июля 1943 г., подписанной И.В. Сталиным и маршалом А.М. Василевским, командующему войсками

Забайкальского фронта генерал-полковнику М.П. Ковалеву о задачах на случай нападения Японии (ЦАМО. Ф. 148а. Оп. 3763. Д. 101. Л. 1922.) (рис. 1) было приказано

Ставка Верховного Главнокомандования  
И. СТАЛИН  
А. ВАСИЛЕВСКИЙ

ЦАМО. Ф. 148а. Оп. 3763. Д. 101. Л. 15–18. Подлинник.

№ 285

**ДИРЕКТИВА СТАВКИ ВГК № 30156 КОМАНДУЮЩЕМУ ВОЙСКАМИ  
ЗАБАЙКАЛЬСКОГО ФРОНТА О ЗАДАЧАХ НА СЛУЧАЙ НАПАДЕНИЯ ЯПОНИИ**

27 июля 1943 г.

В случае нападения японских вооруженных сил на Советский Союз Ставка Верховного Главнокомандования приказывает:

1. Ударом главных сил фронта в составе 17-й и 36-й армий и военно-воздушных сил уничтожить противостоящего противника в районе Ганьчжур, Хайлар, Маньчжурия, к концу первого месяца войны овладеть Баргой<sup>1</sup> и закрыть противнику выходы через Большой Хинган на солунском и хайларском направлениях.

Ближайшей задачей операции поставить: не позже двенадцатого дня войны овладеть Креуленинским выступом, Маньчжуро-Чжалайнорским УР и выйти на рубеж оз. Буир-нур, р. Орчунь, р. Мутная протока. Последующая задача — разгромить противника в районе Ганьчжур, Баин-Цаганские высоты, овладеть Хайларским УР и, прикрываясь на солунском направлении, выйти к предгорьям Большого Хингана на фронте Джинджин-сумэ, Хунхэрцунь, восточный берег р. Имбин-гол, Якэши, Трехречье, где прочно закрепиться. При благоприятных условиях в дальнейшем предусмотреть захват и прочное удержание перевалов через Большой Хинган.

Одним стрелковым корпусом в составе двух стрелковых дивизий, кавалерийской дивизии, танковой бригады и средств усиления действиями из района Старо-Цурухайтуй, Ново-Цурухайтуй уничтожить японо-маньчжурские части на восточном берегу р. Аргунь, овладеть Трехречьем и, обеспечивая действия войск фронта на главном направлении, сковать силы противника в районе Хайлара до выхода в этот район главных сил фронта.

На остальных участках Забайкальского фронта прочно оборонять границу МНР и СССР.

2. Штаб фронта — Ширлова гора.

3. Разграничительная линия с Дальневосточным фронтом остается прежняя: р. Ольдой, Свербеево, г. Кулуншань, Нэхэ (все пункты для Забайкальского фронта включительно).

Рисунок 1. Фрагмент Директивы Ставки Верховного Главнокомандования Красной Армии об организации штаба Забайкальского фронта в Ширловой Горе.

организовать уничтожение противника и далее перейти в наступление на территории Монголии и Китая. Генерал-полковник М.П. Ковалёв был опытным военачальником, за плечами которого были и первая мировая, и гражданская, и финская войны. Командовать ему предстояло на первых порах двумя армиями и несколькими дивизиями противовоздушной обороны (ПВО) и авиации (ВВС).

К этому времени подземный штаб Забайкальского фронта был уже построен и оборудован. В процессе проходки подземных ходов, строительства подземных помещений штаба и долговременных огневых точек, включая капониры, было вскрыто множество продуктивных тел с камнесамоцветным сырьем, которое оказалось в отвалах и стало предметом добычи местным населением после 1990-х годов. На рис. 2 показан южный склон Сопки Лукавая с отвалами горных пород, вынутых во время проходки подземных помещений штаба. На рисунке 3 показан современный облик входа в подземный штаб, на рис. 4 — бетонный ДОТ, а на рис. 5 — вид с места его расположения на степное пространство в сторону границы с Монголией.

Поражение Германии и предъявление Японии единого ультиматума союзных стран весной 1945 года определило необходимость проведения операции против Японии. Поэтому вступление СССР в войну против Японии стало всего лишь вопросом времени. Зная это, Японское командование приступило к спешному восстановлению численности Квантунской армии. В неё в полном составе вошли 4 пехотные дивизии из Центрального Китая. В результате тотальной мобилизации среди японских колонистов в Китае и Маньчжурии были сформированы 9 новых дивизий и 8 бригад. Но уровень их подготовки и технического оснащения были плохими.



Рисунок 2. Общий вид двухглавой Шерловой Горы. На вершине в правой части фото видна Сопка Лукавая и два отвала горных пород, образовавшихся в результате их выемки из недр.



Рисунок 3. Современный облик одного из входов в подземный штаб



Рисунок 4. Современный облик ДОТа в непосредственной близости от подземного штаба



Рисунок 5. Вид от Штаба на территорию, прилегающую к советско-монгольской границе. Вдали озеро-Хара-Нор

По состоянию на 8 августа 1945 года, когда Советский Союз принял решение о начале военных действий против Японии, в составе Квантунской армии были – 1-й фронт (3-я и 5-я армии), 3-й фронт (30-я и 44-я армии), 17-й фронт (34-я и 59-я армии), отдельная 4-я армия, 2-я и 5-я воздушные армии. Кроме того, ей были оперативно подчинены Императорская Маньчжурская армия (армия Маньчжоу-го), а также Суйюаньская армейская группа и сунгарийская речная флотилия. Общая численность Квантунской армии с приданными ей войсками составляла 713 тысяч человек. Было в её составе также и бактериологическое оружие, так называемый «Отряд 331». Командующим Квантунской армии в это время был генерал армии Ямада Отодзо, начальником штаба генерал-лейтенант Хата Хикосабуро [2].

Общее количество советских войск на Дальнем Востоке на 8 августа 1945 года составило более 1,7 млн человек и образовано три фронта: Забайкальский под командованием Маршала Советского Союза Родиона Яковлевича Малиновского и два Дальневосточных, которыми командовали Маршал Советского Союза Кирилл Афанасьевич Мерецков и генерал армии Максим Алексеевич Пуркаев. Общее командование войсками на Дальнем Востоке осуществлял Маршал Советского Союза Александр Михайлович Василевский, прибывший в Читу 5 июля 1945 года, переодетый в форму генерал-полковника, с документами на имя Васильева. Затем он отправился в подземный штаб Забайкальского фронта. 30 июля директивой ГКО он был назначен главнокомандующим советскими войсками на Дальнем Востоке [1]. На рассвете 9 августа 1945 года, согласно его приказа, о начале Маньчжурской операции советские войска перешли границу и атаковали японские войска с суши, воздуха и моря. Сражения начались на фронте протяжённостью более 5 тыс. км. 10 августа в войну с Японией вступила Монгольская народно-революционная армия под командованием маршала Хорлогийна Чойбалсана. В результате стремительного наступления советской армии и флота японские войска были разгромлены [2].

14 августа 1945 года, император Хирохито объявил о капитуляции Японии. В соответствии с разными источниками командующий Квантунской армии генерал Ямада 16 или 20 августа приказал своей армии сдаться. Но некоторые японские дивизии отказались сдаться, и боевые действия продолжались в течение следующих нескольких дней. Ко 2 сентября 1945 года Квантунская армия и другие силы японцев и их союзников капитулировали. Все военные трофеи были переданы Народно-освободительной армии Китая. Около 600 тысяч японцев и их пособников были взяты в плен.

2 сентября 2025 года исполнится 80 лет со дня победного окончания Второй мировой войны. Важнейшую роль в разгроме японской военщины на заключительной её стадии сыграл Забайкальский фронт Красной Армии, штаб которого находился в Шерловой Горе. Поэтому Правительству Забайкальского края при всемерной поддержке со стороны руководства страной и при непосредственном участии общественности, необходимо приложить максимум усилий для реконструкции этого легендарного штаба к сентябрю 2025 года с целью сохранения памяти об этой великой победе и патриотического воспитания молодёжи на примерах истории наших побед.

### **Библиографический список**

1 Маньчжурская операция. – 1945. – URL.:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%8C%D1%87%D0%B6%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0D1%86%D0%B8%D1%8F\\_\(1945\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D1%8C%D1%87%D0%B6%D1%83%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0D1%86%D0%B8%D1%8F_(1945))  
Дата обращения 23.11.2024

2. Зимонин В. П. Маньчжурская стратегическая наступательная операция и её роль в принуждении Японии к миру. // 75 лет Победы: Советский Союз и завершение Второй мировой войны на Дальнем Востоке / отв. ред. Ю. А. Никифоров. — СПб.: НесторИстория, 2020. — 696 с. — ISBN 978-5-4469-1839-3. — С.351—363.

3. Константинова Н.Н., Шарак О.М. Девичьи судьбы войны. Документальные очерки, навеянные воспоминаниями героинь, сведениями их родных и знакомых. – Чита: Экспресс-изд.-тво, 2018.– 148 с.

4. Юргенсон Г.А. Подземный штаб Забайкальского фронта на Шерловой Горе // Записки Забайкальского отделения Русского географического общества. Выпуск СXXXVIII. – 2024.– С.44 – 50.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абрамов Б.Н. – 11;  
Анкушева Н.Н. – 35;  
Асочакова Е.М. – 134;  
Аюржанаева Д.Ц. – 16;  
Аюшина Т.А. – 125, 137,  
162;
- Баранов А.А. – 38;  
Барановская Н.В. – 187, 206;  
Бардухинов Л.Д. – 87;  
Бахтин А.И. – 79;  
Баюков О.А. – 154;  
Бухарова О.В. – 154;  
Бычков А.Ю. – 38;
- Василенко Е.А. – 209;  
Васильев В.И. – 21;  
Васильева Е.В. – 21;  
Васильева Т.И. – 31;  
Вах Е.А. – 96;  
Вершкова Е.М. – 187;  
Ветошкина А.В. – 96;  
Вишнякова О.В. – 203;  
Вологодина И.В. – 134;  
Волочаев М.Н. – 154;  
Воробьева Г.А. – 116;  
Ву Хоанг Ли – 31;
- Габлина И.Ф. – 38;  
Гонгальский Б.И. – 26, 38;  
Горячев Н.А. – 31;  
Груздев Р.В. – 70, 214;  
Грязнова А.С. – 38;  
Гусарова В.В. – 96;
- Данилова Э.В. – 191;  
Дорофеев Н.И. – 116, 121;  
Дорошкевич С.Г. – 101;  
Дружинина Ю.В. – 66;  
Дубенко К.А. – 167;  
Дутова Е.М. – 134;
- Еремин О.В. – 142, 144;
- Жабоедов А.П. – 53;  
Жамбалова А.Д. – 106, 137,  
162;
- Замана Л.В. – 149;
- Зимин М.Д. – 53;  
Зинчук Н.Н. – 87;
- Игуменцев К.В. – 35;  
Иккерт О.И. – 154;
- Казакова А.А. – 187;  
Карначук О.В. – 154, 191;  
Кислов Е.В. – 82;  
Князев Ю.В. – 154;  
Козлова А.А. – 225;  
Константинов А.В. – 221;  
Коньшев А.А. – 38;  
Корекина М.А. – 35;  
Краснова Е.А. – 38;  
Криволуцкая Н.А. – 38;  
Куваев В.А. – 159;  
Кузьмин Г.П. – 159;  
Кузьминых Е.Н. – 235;  
Куликова З.И. – 53;
- Ласточкин Е.И. – 121, 125,  
137, 162;  
Лебедева М.П. – 116;  
Литвинцева О.В. – 66;  
Лукина А.П. – 191;  
Людвиг У.И. – 225;  
Ляпунов М.Ю. – 198;
- Макаров В.П. – 193;  
Макрыгина В.А. – 53;  
Миронова Е.В. – 42, 45;  
Митюшева Т. П. – 111;  
Михайлова Л.А. – 187, 206;  
Молокеев М.С. – 154;
- Намжилов Б.Б. – 66;  
Насатуева Ц.Н. – 121;  
Нго Тхи Фьонг – 31;  
Непомнящих А.И. – 53;  
Ниёзов А.С. – 49;  
Николаев А.Г. – 79;
- Павлов И.А. – 106, 125;  
Платунов М.С. – 154;
- Радомская В.И. – 198;  
Рампилов М.О. – 56;
- Ревенко М.А. – 96;  
Рошкетаяев П.А. – 16;  
Русанов И.И. – 191;  
Рыльский И.А. – 214;
- Савичев А.Н. – 35;  
Салихов В.С. – 231;  
Свирская Н. М. – 38;  
Симакова Ю.С. – 111;  
Смородина Е.Д. – 154;  
Солотчин П.А. – 149;  
Соцкая О.Т. – 31;
- Трубачев А.И. – 66, 74, 231;
- Убугунов В.Л. – 106, 116,  
116, 121, 125, 162;  
Убугунов Л.Л. – 137, 203;  
Убугунова В.И. – 106, 116,  
116, 121, 125, 137, 162;  
Усманова Л.И. – 149;
- Фам Нгок Кан – 31;  
Федоров А.М. – 53;  
Филенко Р.А. (3) – 101, 130,  
144;
- Хромова Е.А. – 60, 125;
- Цыренов Т.Г. – 130;  
Цыренова Д.Д. – 121;
- Чан Туан Ань – 31;  
Чан Чонг Хоа – 31;  
Чачанагова О.И. – 53;  
Чередова Т.В. – 101;  
Чудаев Д.А. – 116;  
Чудинова О.Н. – 167;  
Чупрова А.А. – 56;
- Шешукова А.А. – 101;  
Шумилова Л.В. – 171;
- Щербакова Д.А. – 235;
- Юг А.Ю. – 66;  
Юргенсон Г.А. – 42, 45, 53,  
60, 70, 74, 79, 92, 142, 144,  
171, 181, 242;

Научное издание

**МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА  
ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ  
СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ**

Труды X-го Всероссийского симпозиума  
и XVII-х Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана

12 –17 августа 2025 г., Чита, Россия

Сборник издается в соответствии с оригиналом,  
подготовленным редакционной коллегией при участии издательства

Верстка *Е.С. Эпова, Е.В. Миронова*

Дизайн обложки *Г.А. Юргенсон*

ФБГУ ВО «Забайкальский государственный университет»  
672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30