



МИНЕРАЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ



Чита, 2023

Российская академия наук
ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН»
Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»
Российское минералогическое общество
Читинское отделение

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

Труды IX Всероссийского симпозиума с международным участием
«Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и
XVI Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана
«Рациональное природопользование»,
«Современное минералообразование»

26 августа – 2 сентября 2023 г.
Чита, Россия

Чита
2023

УДК 549+551.4(075.8)

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

Симпозиум организован ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН» И ФГБУ «Сибирское отделение Российской академии наук» и Читинским отделением Российского минералогического общества

Редакционная коллегия

Г.А. Юргенсон (отв. редактор), Е.С. Эпова, Н.С. Балухев, Р.А. Филенко

Рецензент

К.г.-м.н. П.П. Петровский

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 / Ин-т природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Забайкал. гос. ун-т; [отв. ред. Г.А. Юргенсон]. – Чита: ООО «Экспресс-издательство», 2023. – 211 с.

ISBN 978-5-9566-0532-5

В сборнике представлены материалы IX-го Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XVI-х Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование», в которых обсуждаются различные аспекты проблем геологических 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.

УДК 549+551.4(075.8)

ISBN 978-5-9566-0532-5

© Коллектив авторов
© Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2023
© ООО «Экспресс-издательство», 2023

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

Labours of the 9th all-russian symposium with international participation
«Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories» and
labours of the 16th all-russian readings devoted to academician A.E. Fersman
«The rational nature management» «Modern mineral formation»

26nd of August – 2th September, 2023
Chita, Russia

Mineralogy and geochemistry of landscape of mountain-ore territories. The rational nature management. Modern mineral formation : Labours of the 9th all-russian symposium with international participation and labours of the 16th all-russian readings devoted to academician A.E. Fersman 26nd-31th of august 2023, Chita, Russia. – 211 p.

ISBN 978-5-9566-0532-5

The collection contains materials of the IX All-Russian Symposium with international participation "Mineralogy and Geochemistry of the Landscape of Mining Territories" and the XVI 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:

Российская академия наук
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
Российское минералогическое общество
Читинское отделение
Комиссия по современному минералообразованию РМО
Министерство науки и высшего образования РФ
Забайкальский государственный университет
Лаборатория минералогии и геохимии ландшафта
Правительство Забайкальского края
Государственный природный биосферный заповедник «Даурский»
Забайкальский региональный центр «Российской академии естественных наук»
Забайкальское региональное отделение Русского географического общества
Забайкальское региональное отделение ОО РосГео
Академия наук КНР
Академия наук Монголии

* * *

ORGANIZERS:

The Russian Academy of Sciences Sibirien Branch
Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS
Russian Mineralogical Society
Chita branch
Commission for Modern Mineral Formation of the RMS
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Transbaikal State University
Laboratory of Mineralogy and Geochemistry of Landscape
Government of Transbaikalia Region State
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
Chinese Academy of Sciences
Mongolian Academy of Sciences

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

Горячев Н.А. – академик РАН, СВКНИИ ДВО РАН и ИГХ СО РАН, сопредседатель
Юргенсон Г.А. – д.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН, председатель Читинского отделения РМО, сопредседатель
Гармаев Е.Ж. – член-корр. РАН, директор БИП СО РАН, сопредседатель
Гладкочуб Д.П. – член-корр. РАН, директор ИЗК СО РАН
Гордиенко И.В. – член-корр. РАН, ГИН СО РАН
Кузьмин М.И. – академик РАН, ИГХ СО РАН
Перепелов А.Б. – д.г.-м.н., директор ИГХ СО РАН
Петров В.А. – член-корр. РАН, директор ИГЕМ РАН
Плюснин В.М. – д.г.н., научный руководитель ИГ СО РАН
Плюснин А.М. – д.г.-м.н., ГИН СО РАН
Сяо Х. – профессор, Институт геологии и геофизики АНК, Китай, г. Пекин
Одгэрэл Д. – д.г.-м.н., Институт геологии и минеральных ресурсов АНМ, Монголия, г. Улан-Батор

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:

Сопредседатели:

Михеев И.Е. – к.г.н., директор ИПРЭК СО РАН, сопредседатель
Корсун О.В. – к.б.н., зам. директора ИПРЭК СО РАН, сопредседатель
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
Филенко Р.А. – н.с., ИПРЭК СО РАН, секретарь организационного комитета
Эпова Е.С. – к.г.-м.н., м.н.с., ИПРЭК СО РАН, секретарь организационного комитета

Члены оргкомитета:

Алексеев В.А. – д.г.-м.н., профессор, ЮФУ (Ростов-на-Дону)
Бизяев И.О. – исполнительный директор Общественной организации Российское геологическое общество
Борзенко С.В. – д.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН
Боркин Л.Я. – к.б.н., Центральноазиатское бюро Санкт-Петербургского союза ученых
Гребенщикова В.И. – д.г.-м.н., ИГХ СО РАН им. А.П. Виноградова
Дуань Жуйянь – профессор, Шеньянский институт геологии и полезных ископаемых
Дорошкевич С.Г. – к.б.н., ученый секретарь ГИН СО РАН
Еремин О.В. – к.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН
Зверева В.П. – д.г.-м.н., ДВГИ ДВО РАН
Купряшкин И.В. – к.филос.н., проректор по науке и инновациям ЗабГУ
Константинов А.В. – д.и.н., профессор ЗабГУ, председатель ЗРО РГО
Немков С.И. – министр природных ресурсов Забайкальского края
Никитина Н.К. – к.г.-м.н., д.э.н., председатель секции геоэтики ОО РосГео
Новиков А.Н. – д.г.н., профессор ЗабГУ
Оюун Ж. – профессор, Улан-Баторский Государственный Университет, Монголия
Поленов Ю.А. – д.г.-м.н., профессор УГГУ
Потапов С.С. – к.г.-м.н., ИМин ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН
Тайсаев Т.Т. – д.г.н., профессор БГУ
Токарева Ю.С. – к.ф.-м.н., доцент ЗабГУ
Чарыкова М.В. – д.г.-м.н., профессор СПбГУ
Шумилова Л.В. – д.т.н., профессор ЗабГУ, Забайкальское отделение РАЕН
Остапенко Н.С. – д.г.-м.н., ИГиП ДВО РАН
Размахнин К.К. – к.т.н., директор ЧФ ИГД СО РАН
Синица С.М. – д.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН
Трубачев А.И. – д.г.-м.н., профессор ЗабГУ
Чечель Л.П. – к.г.-м.н., ИПРЭК СО РАН

РЕДАКТОРСКАЯ ГРУППА:

Г.А. Юргенсон (отв. редактор), Е.С. Эпова, Н.С. Балуюев, Р.А. Филенко

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	8
Юргенсон Г.А. Шерловая Гора – уникальный источник знаний и минерального сырья в Забайкалье: к 300-летию открытия, исследований и разработки	10
1. ГЕОЛОГИЯ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ ОБРАЗОВАНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	
Гадиятов В.Г. Монголо-Охотская провинция: распространение и закономерности размещения камнесамоцветного сырья	34
Горячев Н.А. Орогенные месторождения золота: геодинамика и минералогенез	40
Дамдинов Б.Б., Котельников А.Р., Сук Н.И., Дамдинова Л.Б., Ахмеджанова Г.М. Экспериментальные исследования метаморфизма сульфидных руд в присутствии флюидной фазы	43
Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б., Викентьев И.В., Реутский В.Н. Условия формирования перекристаллизованных руд Озерного полиметаллического месторождения (Западное Забайкалье, Россия).....	48
Зинчук Н.Н. Особенности формирования и размещения древних осадочных алмазосодержащих толщ	53
Зинчук Н.Н. Сравнительные особенности алмазов из кимберлитов северо-востока Сибирской платформы	59
Мельников А.В., Воропаева Е.Н. Самородное золото первичных и окисленных руд Чагоянского золото-полиметаллического месторождения (Верхнее Приамурье)	65
Миронова Е.В., Юргенсон Г.А. ИК-спектры МНПВО халцедона	70
Мунконов Э.Ч-Д., Дамдинова Л.Б. Золото-полиметаллические руды Назаровского месторождения (Западное Забайкалье).....	75
Салихов В.С. Геодинамический режим – ключ к познанию тайн глубинных недр Лугоканского рудного узла (Юго-Восточное Забайкалье)	78
Федоров А.М., Юргенсон Г.А., Непомнящих А.И., Макрыгина В.А. Кварцевые жилы Ундинской кварцевожильной зоны.....	83
Юргенсон Г.А., Миронова Е.В. Геохимические особенности жилы Женевской и вмещающих её горных пород Дарасунского месторождения золота (Забайкалье, Россия).....	88
Юргенсон Г.А., Филенко Р.А., Миронова Е.В. Сравнительный анализ геохимических особенностей продуктивных минеральных комплексов месторождений вольфрама, молибдена и золота	94
2. КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И ЗОНА ОКИСЛЕНИЯ В ЛАНДШАФТАХ ГОРНОРУДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	
Филенко Р.А., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К. О метацейнерите Шерловогорского месторождения (Юго-Восточное Забайкалье, Россия)	99
Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Еремин О.В. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований по моделированию выщелачивания руд олова, вольфрама и золота	103
3. МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ. СОВРЕМЕННОЕ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ	
Борзенко С.В., Фёдоров И.А., Комогорцева И.А. Поведение тербия, диспрозия и гольмия в водной среде в присутствии гуминовых кислот	107
Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К., Чередова Т.В. Химические элементы в системах «рудничные воды – донные отложения – биоматы», «рудничные воды – почвы – растения» территории разгрузки рудничных вод сульфидно-вольфрамового месторождения.....	112

Еремин О.В., Русаль О.С. Термодинамические свойства кристаллизационной воды в соединениях урана	116
Еремин О.В., Юргенсон Г.А., Эпова Е.С. Физико-химическая модель окисления кварц-вольфрамит-топазового грейзена месторождения Шерловая Гора	121
Серебренникова Н.В. Колебания уровня режима Доронинского содового озера.....	125
Убугунова В.И. Геохимические особенности приозерных засоленных почв, формирующихся в зоне влияния Шерловогорского рудного узла	128
Филенко Р.А., Юргенсон Г.А. Современное минералообразование в техногенных массивах Дарасунского месторождения (Забайкальский край)	133
4. БИОГЕОХИМИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ И ЗОНЫ ГЕОТЕХНОГЕНЕЗА	
Барановская Н.В., Казакова А.А., Вершкова Е.М., Михайлова Л.А. Элементный состав волос жителей Забайкальского края	139
Бондаревич Е.А., Михайлова Л.А., Лескова О.А., Коцюржинская Н.Н. Накопление микроэлементов в волосах детского населения городов Забайкальского края	143
Макаров В.П., Зима Ю.В. Концентрация химических элементов в побегах багульника болотного (<i>Ledum palustre</i> L.) в районе Быстринского ГОКа (Забайкальский край).....	146
5. РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ	
Груздев Р.В. Возможность геофизических методов при поисках камнесамоцветного сырья (на примере Шерловогорского месторождения самоцветов)	150
Шумилова Л.В., Юргенсон Г.А. Отходы добычи и переработки олово-полиметаллических руд Шерловогорского месторождения и рекомендации по технологии их использования.....	156
6. ВКЛАД РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В ПОЗНАНИЕ ПРИРОДЫ СИБИРИ И ЗАБАЙКАЛЬЯ	
Мурзинцева А.Е. Геологические отчеты и архивные материалы в Музее БНЦ СО РАН	162
Трубачев А.И. Геолого-минералогические исследования учёных советской (Российской) академии наук в Кодаро-Удоканской структурно-фациальной зоне	166
7. НАУЧНЫЙ ТУРИЗМ	
Юргенсон Г.А., Василенко Е.А. Сравнительная характеристика содержания химических элементов V группы периодической системы, урана и тория в обнажениях отложений укурейской свиты Восточного Забайкалья.....	171
Константинов А.В. Возможности развития научного туризма (историко-географический аспект) в Забайкальском крае в районе Ивано-Арахлейских озер	175
Кузьминых Е.Н. Воицкий рудник. Серебряная гора. Легенды и реальность	178
Юргенсон Г.А., Мороз П.В., Корсун О.В. Стратовулкан Титовская Сопка как комплексный памятник природы и древней истории в пределах г. Чита	187
Юргенсон Г.А., Мороз П.В. Вулканическая постройка Титовская Сопка как памятник природы и сырьевой источник каменного века	194
Баданина Е.В., Сырицо Л.Ф., Волкова Е.В. Петрогенетические особенности формирования рудоносной Шерловогорской вулcano-плутонической ассоциации пород в Восточном Забайкалье.....	199
Молокеев А.К., Стасевич И.О. Содержание кальция, магния и фосфора в витаминно-минеральных комплексах.....	202
Санжанова С.С., Плюснин А.М. Экспериментальное исследование взаимодействия промывных вод хвостов переработки вольфрамовых руд с известняком.....	205
Авторский указатель	210

ПРЕДИСЛОВИЕ

Очередной IX Всероссийский симпозиум с международным участием «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. В текущем году они посвящены 300-летию Российской академии наук и 300-летию открытия месторождения самоцветов и цветных и редких металлов Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье. 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, а также впервые для этого мероприятия, формирование минеральных парагенезисов в условиях современного вулканизма. 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. Коры выветривания и зона окисления в ландшафтах горнорудных территорий.
3. Минералого-геохимические процессы в природных и антропогенных ландшафтах. Современное минералообразование.
4. Биогеохимия природных ландшафтов и зоны геотехногенеза.
5. Рациональное природопользование.
6. Вклад Российской академии наук в познание природы Сибири и Забайкалья.
7. 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.

Г.А. Юргенсон

*Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
ответственный редактор*

**Шерловая Гора – уникальный источник знаний и минерального сырья в Забайкалье:
к 300-летию открытия, исследований и разработки**

Юргенсон Г.А.

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

Аннотация. Дан обзор изученности месторождений Шерловгорского рудного района за 300 лет. Описана история открытия, исследований, разработки в первые 200 лет как месторождения ювелирного берилла и коллекционного сырья, а с открытием промышленных запасов вольфрама, олова, висмута, свинца и цинка как комплексного источника этих видов минерального сырья. Показана роль этого месторождения в познании геммологии, причин образования кристаллов берилла определенной окраски, процессов образования как месторождения в целом, так и отдельных минеральных и рудных ассоциаций. Сформировавшаяся широкая цветовая гамма кристаллов берилла дала возможность определить, что важнейшую роль в образовании его кристаллов определенного цвета играет величина соотношения двух и трехвалентного железа, а также ванадия, марганца и хрома. Выявлены формы вхождения в кристаллы берилла циркония, мышьяка, серебра, висмута. Обобщены сведения о биогеохимических процессах в этих ландшафтах и на примере Шерловгорской горно-промышленной территории определено, что весь комплекс минералого-геохимических процессов в их пределах следует рассматривать как функционирование горно-промышленных геосистем.

Ключевые слова: Шерловая Гора, Шерловгорский рудный район, берилл, топаз, аметрин, ювелирное сырьё, коллекционное сырьё, олово, вольфрам, висмут, свинец, цинк, биогеохимия, современное минералообразование, горно-промышленная геосистема.

**Sherlovaya Gora is a unique source of knowledge and minerals in Transbaikalia:
to the 300th anniversary of discovery, research and development**

Yurgenson G.A.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, yurgga@mail.ru

Abstract. A review of the study of the deposits of the Sherlovogorsk ore region over 300 years is given. The history of discovery, research, development in the first 200 years as a deposit of jewelry beryl and collection raw materials is described, and with the discovery of industrial reserves of tungsten, tin, bismuth, lead and zinc as a complex source of these types of mineral raw materials. The role of this deposit in the knowledge of gemology, the reasons for the formation of beryl crystals of a certain color, the formation processes of both the deposit as a whole and individual mineral and ore associations is shown. The formed wide range of colors of beryl crystals made it possible to determine that the ratio of two and ferric iron, as well as vanadium, manganese and chromium, plays the most important role in the formation of its crystals of a certain color. Forms of occurrence of zirconium, arsenic, silver, bismuth in the structure of beryl are revealed. The formed wide range of colors of beryl crystals made it possible to determine that the ratio of two and ferric iron, as well as vanadium, manganese and chromium, plays the most important role in the formation of its crystals of a certain color. Forms of occurrence of zirconium, arsenic, silver, bismuth in beryl crystals are revealed. The information about biogeochemical processes in these landscapes is summarized and, using the example of the Sherlovogorsk mining and industrial territory, it is determined that the entire complex of mineralogical and geochemical processes within them should be considered as the functioning of mining geosystems.

Keywords: Sherlovaya Gora, Sherlovogorsk ore district, beryl, topaz, ametrine, jewelry raw materials, collection raw materials, tin, tungsten, bismuth, lead, zinc, biogeochemistry, modern mineral formation, mining and industrial geosystem.

Шерловгорский рудный район, в состав которого входят пять месторождений, расположен в краевой части Агинского палеозойского поля в Забайкалье, образующего здесь своеобразный антиклинальный выступ в мезозойской геосинклинальной зоне. Положение Шерловой горы дано на рисунке 1.

Шерловгорская рудно-магматическая система приурочена к гранитной интрузии мезозойского возраста [1, 6]. По Гайворонскому [6] абсолютный возраст онгонитов составляет 136-153 млн лет, что соответствует поздней юре – раннему мелу. Многочисленные рудопроявления, приуроченные к Шерловгорскому гранитному массиву, генетически связаны с его становлением. Восточная часть её имеет более сложное строение. Здесь прослеживаются горные породы основания, реликты серпентинитов, граниты юрско-мелового возраста и прорывающие их вулканы киммерийского магматического цикла, содержащие субвулканические редкометалльные онгониты с оловянным и редкометалльным оруденением, взрывчатые брекчии кислого состава, содержащие основную массу оловянного оруденения Сопки Большая, а также оловополиметаллическое оруденение

Восточной аномалии. Вулканогенные образования кислого состава образуют субинтрузии, покровы и дайки кварцевых порфиров и фельзитов их туфы и туфобрекчи, с которым генетически связано оловянное оруденение.



Рисунок 1. Локация Шерловогорского рудного района.

Таким образом, Шерловогорская рудномагматическая система сформирована в два этапа, во время которых рудообразование происходило в разных её частях. Для первого, раннего, этапа характерно образование редкометалльного оруденения жильного и грейзенового типов с ферберитом, касситеритом, висмутином, бериллом, топазом, сидерофиллитом в гранитном массиве и зонах экзоконтакта. На заключительных стадиях этого этапа произошло приоткрытие кварц-топазовых жил в эндоконтактной зоне гранитной интрузии и образование в гранитах слабой трещиноватости северо-восточного простирания, в которых формировались кварцевые жилы и их системы, с топаз-сульфидной минерализацией с касситеритом и минералами висмута. Эта минерализация характеризуется четкой вертикальной зональностью. Сверху вниз уменьшается доля касситерита и нарастает количество вольфрама и висмута, соответственно, в ферберите и висмутине и самородном висмуте, еще ниже увеличивается количество бериллия в форме берилла.

В настоящее время обнажена средняя переходная зона этой постройки от висмутин-вольфрамитовой к топаз-берилловой. Вся верхняя часть средней зоны разрушена и рудная её составляющая оказалась в тех богатейших бисмутит-ферберит-касситеритовых россыпях, которые успешно отрабатывались почти пол века. Глубина эрозионного среза Шерловогорского гранитного массива не превышает 200 м.

За пределами гранитного массива на юго-западе располагается субвулканическая залежь фельзит-порфиров (онгонитов) Сопки Высокая. На востоке находится эруптивная брекчия жерловой фации, в которой обломки ороговикованных алевролитов и песчаников сцементированы фельзит-порфирами и турмалином с оловянно-полиметаллическим оруденением.

Во второй этап происходит формирование олово-полиметаллического оруденения, локализующегося в разломах и в интенсивно трещиноватой зоне штокверкового типа в кварцевых порфирах. С этим этапом связано формирование олово-полиметаллического месторождения Сопки Большая, представленного штокверком, и Восточная аномалия в зоне Северо-Восточного разлома. К западу от них, в зоне взаимодействия гранитов и вмещающих их пород сформированы месторождения Аплитовый отрог и Кварц-турмалиновый отрог. Руды месторождений характеризуются сложным минеральным составом. Они содержат промышленные концентрации олова, свинца, цинка, серебра, индия и скандия. Современная геологическая карта Шерловогорского рудного района дана на рисунке 2.

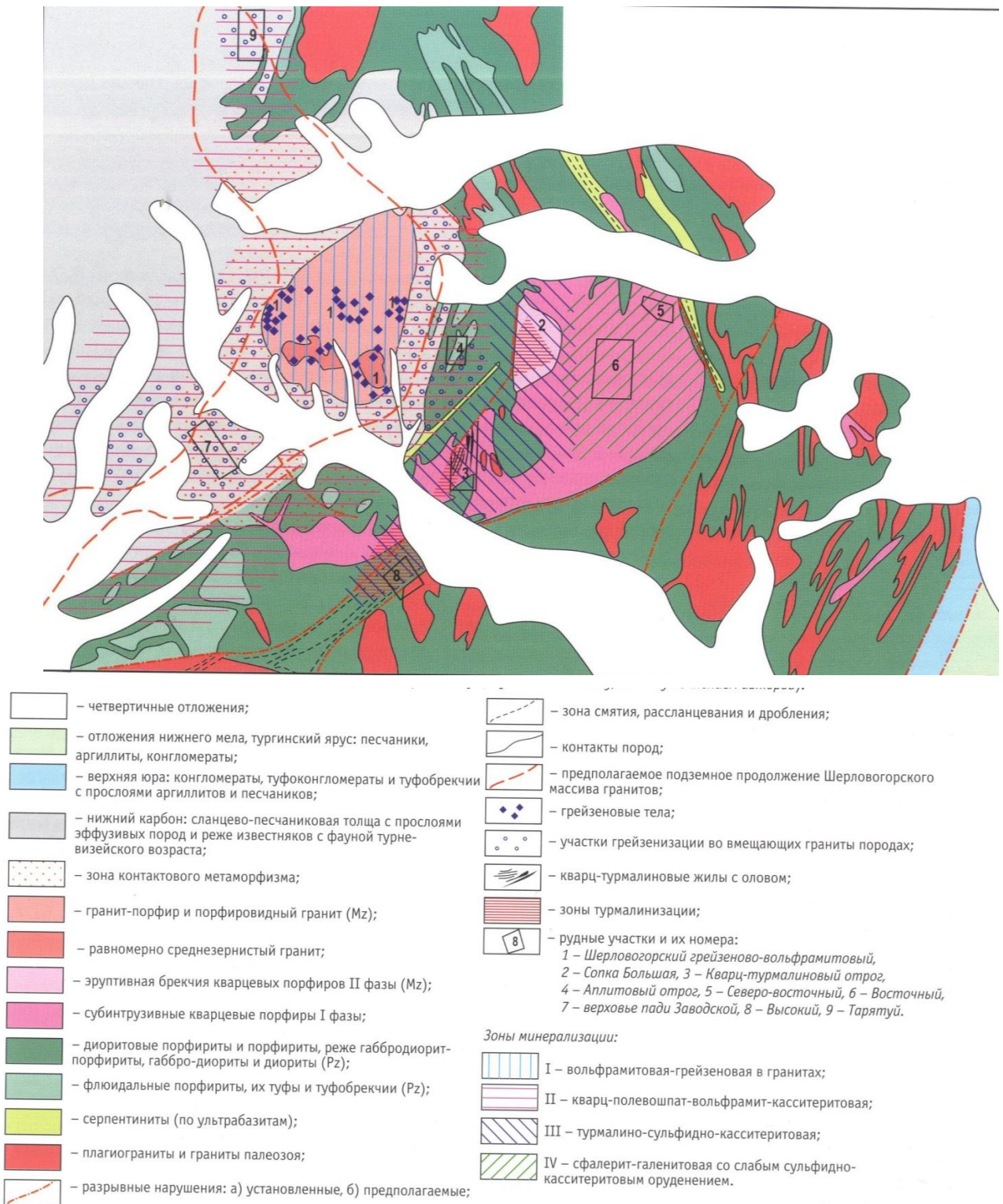


Рисунок 2. Современная геологическая карта Шерлоговского рудного района. По: [40].

К истории открытия и изучения. Первые официальные сведения об открытии на южном склоне горы, имевшей название Адун-Чилон, в истоках пади Тут-Халтуй, отделяющей её долину от таковой реки Борзя, находятся в архивных материалах: в Государственном архиве Забайкальского края и Бергколлегии. Именно туда была направлена осенью 1723 года заявка Ивана Гуркова о том, что он летом того же года нашел первые ширлы – кристаллы прозрачного берилла. Они были огранены учеником гранильного дела Иваном Ивановым, который и определил их дальнейшую судьбу как ювелирного камня. Но, скорее всего, такие кристаллы были известны местному населению и до этой находки Ивана Гуркова. Эта мысль

была высказана Петером Симоном Палласом в начале июня 1772 года во время посещения им Адун-Челона и Шерловой Горы, куда тунгусы, как сказано в его известном отчете о путешествии по России [18]. В сохранившемся в Краевой библиотеке Забайкальского края в Чите экземпляре фолианта «Путешествия по разным провинциям Российского государства» на стр. 314 по этому поводу написано следующее. «С восточной стороны гор против Жиранчунгурукской лощины находится холм состоящий из точильного камня (вероятно, имеются ввиду роговики по черным тонкозернистым песчаникам и сланцам. – Авт.), в коем видны рассеянные врознь, отчасти зеленоватые, отчасти совсем прозрачные хрусталики, призматическою своею фигурою на Бразильские электрические Смарагды похожие (Смарагдами в те времена называли зеленые турмалины. – Авт.), которые только что на верху горы и находятся, понеже песок оттоль ветром свевает. Тунгусы ходя на промыслы собирают их детям на игрушки, и тут нанесли столько, что мне самому никогдабЪ найти столько было не можно; ибо они не слишком таки много находятся. При всем том, сколь они не схожи на Бразильские смарагды, однако, при делании не однократно опытов ничуть Электрической силы не оказали». Как видно из этого текста, Паллас произвел исследование зеленых и голубовато-зеленых бериллов Шерловой Горы и убедился в отсутствии у них свойства пьезоэлектриков, характерных для зеленых и голубых турмалинов, и пришел к выводу, что это не турмалин, а берилл. Сведения о месторождениях ювелирных камней из Забайкалья появляются в Европе после опубликования в 1788 году отчета П.С. Палласа о путешествии в Сибирь. Но первое по времени появления в западноевропейской минералогической литературе описание адун-чилонского (Шерловогорского) аквамарина появляется в 1782 году в статье В. Саже [58]. О посещении им Шерловой Горы сведений не известно. Поэтому, вероятно, информацию он получил от П.С. Палласа или И.Г. Георги. Побывавший на Тут-Халтуйском (Шерловогорском) месторождении в 1785 году Е. Патрен, в 1791-м [57] дал прекрасное для того времени его описание. Как свидетельствует почти дословный перевод статьи Е. Патрена одним из основателей российской минералогии, В.М. Севергиным, «...кристаллы аквамарина имеют иззелена-синеватый или иссиня-зеленоватый цвет, величина их различная; прозрачные обыкновенно бывают невелики, нечистые же иногда до 1-2 футов (30-60 см – Авт.) длины. Описание свойств и состава шерловогорских аквамаринов опубликованы И.И. Биндгеймом в 1790-м [54].

Трёхвековая история изучения и освоения месторождения, начатая со времен знаменитой экспедиции П.С. Палласа [20] 1772 г. продолжена в XIX столетии Лосевым (1819 г.), Г.Г. Гессом (1826 г.), А.И. Кулибиным (1829 г.) [18], И.А. Корзухиным (1899 г.) и особенно энергично в XX столетии, когда были выполнены исследования, начатые П.П. Сущинским, открывшим в 1912 году новую промышленную зону Поднебесных [25], А.Е. Ферсманом в 1925, 1929 годах [28], А.К. Болдыревым и Я.А. Луи в 1929 г.[3], Холмовым (1929 г.), О.Д. Левицким в 1932 и 1939 годах и другими в первой его половине и продолжены во второй половине прошедшего столетия О.В. Кононовым (1955 г.), А.А. Беусом [2], В.Ф.Барабановым в 1959 – 1975 годах [1], С.М. Бойко, В.И. Гребенщиковой и Ю.П. Трошиным [4, 5], Г.А. Юргенсоном [31], Г.А. Юргенсоном и О.В. Кононовым [40], О.В. Кононовым и Г.А. Юргенсоном [17]. Самоцветы Шерловой Горы находятся в центре внимания исследователей на протяжении XVIII – XXI веков. Их образцы хранятся во всех крупнейших музеях мира. Их изучение выполнено крупнейшими учеными – знатоками ювелирных камней России, работавшими в Забайкалье. Формы, окраска, размеры и дефектность кристаллов берилла Шерловой Горы, Адун-Челона и Борщовочного кряжа приведены в известных сводках А.И. Кулибина [18], Н.И. Кокшарова [14, 15], В. Титова [26], П.В. Еремеева, П.П. Сущинского [25]. Топазы Шерловой Горы Борщовочного кряжа описаны Н.И. Кокшаровым [14], А. Озерским в 1846 г., А.Е. Ферсманом [28], В.Ф. Барабановым [1] и другими исследователями. Уже в XIX веке были подмечены главные особенности кристаллов топаза и берилла различных месторождений Забайкалья.

Сведений о количестве добываемого камнесамоцветного сырья на Шерловой Горе, как и практически на всех месторождениях цветного камня в мире, мало. Это обусловлено

стремлением всех добытчиков камня скрывать истинное количество его добычи с целью держать высокие цены, не разглашать новые места его добычи и уходить от налогов.

Прямыми свидетельствами добычи камня в древние времена являются отмечавшиеся первыми исследователями Шерловой Горы неглубокие старинные выработки, ямы, разрезы. Добыча велась примитивным способом. Для разрушения вмещающих пород использовались огонь и вода. При этом разрушались и кристаллы, обломки которых находятся около этих выработок. И, как полагал А.Е. Ферсман, «... даже самые простые и поверхностные работы давали во многих случаях богатую добычу» [29, с. 450].

Систематические добычные работы цветного камня, нашедшие отражение в архивных материалах, начались с 1776 года на западной части Шерлогогорского массива под командованием статского советника Нарышкина, бывшего командиром Нерчинских заводов, хотя производились они, вероятно, и значительно раньше. Об этом свидетельствует «Инструкция» от 7 апреля 1764 г., в которой в 18 пунктах предписывалось искать и добывать на основе добровольного подряда как цветные камни, так и декоративно-облицовочный материал для строительства и украшения дворцов в Петербурге. Во всяком случае, уже в 1768 году повелением Екатерины II месторождение передано в ведение Кабинета Ее Величества. Это означает, что она стала его владелицей. Предписано впредь именовать его Ширловой Горой. Однако название это сразу не привилось и использовалось даже после открытия А.И. Кулибиным в 1828 году цветного камня и вольфрамита в горном массиве Адун-Челон [18].

После некоторого перерыва в 1780 году, когда заводами управлял Александр Матвеевич Карамышев, именем которого назван Карамышевский отрог на Шерловой Горе, добыча аквамарин велась по поручению Иркутского губернатора генерал-поручика (в 1778-1783 годах) Франца Николаевича Клички (Франтишека Миколаша Ксавериуса, 1730-1784). Его имя сохранилось в Забайкалье в названии поселка Клички. Из рукописи Лосева 1819 года по данным А.Е. Ферсмана [29] следует, что с 1777 года (в архивных данных – с 1776) Нерчинско-заводское горное начальство производило добычу камней на Шерловой Горе, но в литературе приводятся сведения об объемах добычи только с 1796 года [29]. В рукописи Лосева есть также сведения и о находке «волчеца» (вольфрамита) на Шерловой горе.

В 1826 году на Шерловой Горе побывал Г.Г. Гесс. В своей публикации он указывает, что аквамарины и топазы слагают друзы, находящиеся в трещинах, пересекающих граниты в разных направлениях, трещины заполнены «каменным мозгом» (так называлась окаменевшая глина, от немецкого Steinmark, чаще всего состоящего из каолинита и галлуазита, и похожего на хлорит вещество. Находящиеся в этих друзах кристаллы топаза и берилла сопровождаются большей частью дымчатым кварцем, иногда оловянным камнем (касситеритом) и волцецом (вольфрамитом). В работе Гесса есть важное указание на то, что шерл не попадает совсем. Кроме того, отметим, что это первое упоминание в литературе о присутствии на Шерловой Горе касситерита и третье после Е. Патрена и Лосева, – вольфрамита. В 1899 году И.А. Корзухин публикует материалы об оловянных и других месторождениях Забайкалья, где впервые ставит вопрос о промышленном значении Шерловой Горы как месторождению олова и вольфрама, вероятно не зная о старой статье Г.Г. Гесса, а, может быть, исходя из его данных. К началу XX в. относятся открытие на Шерловой Горе вольфрамовых, а затем оловянных и висмутовых россыпей и начало их отработки.

Исследования Шерлогогорской группы месторождений в XX-XXI веках связаны в основном с минерально-ресурсным потенциалом территории. Специальные минералогические исследования П.П. Сущинского, проведенные с 1914 по 1917 годы, показали сложность минерального состава продуктивных тел и изменчивость условий их образования. Он выявил взаимоотношения между бериллом, вольфрамитом, топазом и кварцем, а также наложенный характер арсенопирита и флюорита. В сводной работе по цветным камням Забайкалья, опубликованной в 1925 году, он описал наиболее крупные выработки месторождения и

указал, что «вместилищем аквамаринов и топазов» является «кварцеватая» порода – «грейзен» [25, с. 23].

Месторождения олова, вольфрама и висмута. В XX веке наряду с добычей аквамарина и гелиодора на Шерловой горе началась разведка и разработка коренных руд и россыпей с бериллом, вольфрамитом, касситеритом, бисмутитом, самородным висмутом и аквамарином (см. рисунок 2). Потребности разразившейся Первой мировой войны и отказ Германии поставлять для металлургической промышленности России руды вольфрама и молибдена потребовали осваивать собственные месторождения. Известный ещё с конца XVIII столетия, вольфрамит Шерловой Горы стал востребован и непременным условием добычи ювелирного берилла стало попутное извлечение вольфрамита, который до этого выбрасывали в отвал. Для нужд войны требовался также и висмут. Поэтому К.А. Ненадкевич по заданию КЕПС (Комиссия естественных производительных сил Академии Наук) проводит специальные исследования висмутоносности Забайкалья и на Шерловой Горе находит висмутин и базобисмутит. Значительный вклад в познание Шерловой Горы как комплексного месторождения внесли геологи М. М. Тетяев (1918 г.), А.К. Болдырев, Я.А. Луи (1929 г.), Г.В. Холмов (1929 г.), О.Д. Левицкий (1933-1939 гг.), Н.В. Ионин (1937 г.), В.А. Гушин (1951-1960 гг.) и другие.

Периодически проводившаяся с 1916 года частными лицами, а затем трестами «Редэлемент» и «Редмет» добыча вольфрамовых, висмутовых и бериллиевых руд в 1932 году была передана в ведение государственному тресту «Союзолово», организованному для разработки россыпных и коренных месторождений. Вплоть до 1962 года производство оловянных концентратов производилась, в основном, из богатых россыпей, где касситерит находился как в виде относительно мелкой псаммитовой и гравийной фракции также в виде глыб массой до 16 кг. Кроме касситерита эти россыпи содержали промышленные концентрации обломочного ферберита и бисмутита. Шерловогорские россыпи, самая крупная из которых находилась в пади Заводской, были первыми источниками вольфрама и висмута в России.

В 1930 году начались работы по разведке коренного месторождения олова, когда на Сопке Большой инженером Н.В. Иониным было выявлено повышенное содержание касситерита в коренных породах. Помимо Сопки Большой, оловянное оруденение было выявлено на Аплитовом и Кварц-Турмалиновом отрогах.

В 1935 году партией ЦНИГРИ под руководством А.П. Соловова проведена станнометрическая съемка, в результате которой выявлены участки с повышенной концентрацией олова. Разработка нового крупнейшего потому времени коренного олово-полиметаллического месторождения на Сопке Большой предусматривалась открытым способом с переработкой руд для производства оловянных концентратов. Расчет запасов произведен, исходя из следующих средних содержаний в руде (мас. %): Sn 0,12; Pb 1,71; Zn 0,79; Cu 0,056; As 3,79; S 11,12; Bi 0,0064; In 0,000152 (до 0,06 в касситерите и 0,005-0,08 в сфалерите, 0,014 в 14% концентрате); Sc 0,2 г/т. Масса руды на начало разработки месторождения составляла 40 328,947 тыс.т. Не говоря уже о запасах основных компонентов, отметим, что ГКЗ были утверждены запасы скандия в количестве 15 т, а индия – 61,3 т. Запасы по скандию были сильно занижены, так как среднее его содержание в руде более кларка, равного 0,0022 г/т.

Первое время руды Сопки Большой и Кварц-турмалинового отрога перерабатывались на опытной обогатительной фабрике с производительностью от 75 до 100 т в сутки. В 1962 году была введена в эксплуатацию первая очередь обогатительной фабрики производительностью 500 т в сутки, что привело к резкому увеличению добычи и переработки руд коренного месторождения Сопки Большая и к полному прекращению отработки россыпей. В 1968 году введена в эксплуатацию вторая очередь ГОКа производительностью 2,5 тыс.т в сутки с годовой производительностью 520 тыс. т.

Производительность предприятия после полного ввода в эксплуатацию составила 3000 тонн руды в сутки. Месторождение разрабатывалось открытым способом до 1993 г. Руды

обогащались по комбинированной технологии, включавшей гравитационные и флотационные методы. Руды оказались упорными и именно для их переработки впервые в СССР была разработана специальная методика хлорилдвозгонки и фьюминг-процесса. Здесь в 1970-х построена единственная в стране фабрика для внедрения этого способа, который успешно начали внедрять для переработки подобных руд в Боливии. Но грянувшая всеразрушающая перестройка разрушила все планы и в 1993 году деятельность её, как и ГОКа в целом была остановлена. Всего на 1 января 1991 года было добыто 22 516 тыс. тонн руды, из которых переработано 15 409 тыс.т, 7107 тыс.т в связи с низким содержанием и упорностью складировано для будущих времен. Извлечено в концентраты около 15 тыс.т олова и вместе с ним около 30 т индия. Вместе с касситеритом из россыпей, в котором содержалось в среднем 0,06% индия было извлечено около тысячи тонн индия, а с вольфрамитом из россыпей извлекался и скандий, содержание которого в нем составляло 0,026%.

Шерловогорские месторождения оловянных и оловополиметаллических руд до конца 1970-х наряду с Хапчерангой и россыпями в Кыринском и Красно-Чикойском районах были единственными крупными источниками олова в Советском Союзе и поэтому относительно хорошо изучены. Основной их заслугой является обеспечение оборонной промышленности оловом, вольфрамом и висмутом в предвоенное время, во время Великой отечественной войны и в период послевоенного восстановления народного хозяйства.

Отношение к ним изменилось после открытия на севере Якутии месторождений Полярное, Светлое, Одинокое и других грейзеновой и кварц-касситеритовой формаций с легко обогащаемыми рудами, а также целой серии месторождений сульфидно-касситеритовой формации в Приморье.

Остаток руды в карьере Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения составляет 22 712 тыс.т. При среднем содержании олова 0,1% это составляет 22 170 т, а запасы индия при содержании 1,52 г/т – 34,52 т. Суммарные запасы индия в оставшихся упорных рудах, хранящихся в складах, составляют 34,03 т. Расчеты запасов других полезных компонентов в хвостохранилище, масса которых 17 617,3 тыс. т, составляет: для скандия 2078,8 т, для висмута 369,38 т, для кадмия 192 т, для бериллия 192 т, для лития 704 т, а также 174,3 т серебра. Хвостохранилище содержит также (тыс. т.): 45,8 свинца, 72,2 цинка, 10 олова и 1,8 вольфрама.

Не переработанная горная масса, представляющая собою массивы добытой руды, распределена между тремя отвалами. Северный отвал первоначально состоял из четырех участков, но по мере увеличения количества отходов превратился в огромный единый отвал. Другие массивы упорных руд слагают Южный и Восточный отвалы. За время их накопления и в последующие 30 лет (1993-2023 гг.) вещественный состав их вследствие воздействия природных процессов (окисление, гидратация, увеличение поверхности взаимодействия с агентами выветривания) изменился, и в них сформировались геотехногенные месторождения. Объем геотехногенного сырья по отвалам карьера Сопки Большая представлен в таблице 1. Общие запасы горной массы этого сырья составляют 124 304 тыс. т, в том числе – 76 389 тыс. т упорных руд.

Таблица 1

Объем техногенного сырья в отвалах карьера Сопки Большая (по: Воросов, 1997 г.)

Показатели	Отвалы упорных руд		Северный отвал, участки		
	Южный	Восточный	1	2	3
Площадь поверхности отвала, тыс. м ²	99	207,1	174,8	65,7	259,8
Количество горной массы, тыс. т	5460	21036	102808		
Запас руды, тыс.т.	5370	12542	58477		
Высота отвала, м			40	от 17 до 39 на южном фланге	46

К настоящему времени нами совместно со специалистами Забайкальского государственного университета (Шумилова и др., 2022) разработана комбинированная технология извлечения редких и цветных металлов из техногенных отходов Шерловогорской обогатительной фабрики, перерабатывавшей олово-полиметаллические руды этого месторождения.

Проблема камнесамоцветного сырья. Добыча берилла и топаза на Шерловой Горе, за исключением короткого периода, когда она велась под руководством профессора П.П. Сущинского, и за три года было добыто около 300 кг кондиционного сырья, не сопровождалась изучением самого месторождения и поэтому многие чрезвычайно важные особенности его строения, условий и процессов формирования, минералогии продуктивных на ювелирное сырье минеральных тел, утрачена. Общее точное количество добытого ювелирного и коллекционного берилла установить не представляется возможным. Но, тем не менее, анализ всех данных о его добыче показал, что по состоянию на начало 1990-х она составила не менее 3,5 т (17,5 млн карат!).

После работ П.П. Сущинского вплоть до середины XX века Шерловая Гора утратила значение как важный источник самоцветов. В период индустриализации страны она становится важнейшим источником олова, висмута, и вольфрама, и в какой-то мере, бериллия.

В 1957-1959 годах партия МГРИ в составе И.Ф. Григорьева, В.В. Аристова и других составила кондиционную геологическую карту района Шерловой Горы и Адун-Челона масштаба 1:50 000. Одновременно сотрудниками МГРИ составлена детальная геологическая карта Шерловогорского массива масштаба 1:2 000. Е.И. Долмановой в 1961 году высказано предположение, что гнезда с аквамаринном приурочены к лейкократовым типам грейзенов (кварцево-топазовым, кварцевым и топазовым).

В 1960-1965 годах. Шерловогорской геологоразведочной парией Министерства Цветной Металлургии (В.А. Гуцин) проведены поисково-съёмочные работы масштаба 1:10 000 на площади Шерловогорского рудного поля (6.6 км²). Составлена кондиционная геологическая карта масштаба 1:10 000 и выделены участки для поисков скрытого оруденения. Основные сведения о минеральном составе жильных и других образований, условиях, процессах и последовательности образования парагенетических ассоциаций минералов выявлены в трудах О. Д. Левицкого, Ф.В. Чухрова и Н.Н. Смольянинова, А.Г. Терешетской и Г.А. Волженковой, О.В. Кононова, В.Ф. Барабанова, Д.О. Онтоева [19], Е.И. Долмановой, П.М. Аносова, Г.А. Юргенсона и др. Изучением поведения редких и рассеянных элементов для их промышленного освоения занимались И.П. Златогурская и М.М. Романова (1958 г.), Г.А. Мельников (1960 г.), И.А. Демкина и В.В. Дранкова (1960 г.), Т.Ф. Уткина и М.Л. Демкина (1962 г.), И.И. Бурлутская и Г.Н. Гончаров (1962 г.).

Особенности геохимии бериллия и место берилла в минералообразовании на месторождении изучалось А.А. Беусом [2]. В.Ф. Барабанов периодически, начиная с 1951 года посещал Шерловую Гору и проводил полевое изучение в 1951, 1953, 1956, 1962, 1963 и 1968 годах, фактически более двух десятилетий. Интерес В.Ф. Барабанова к Шерловой Горе первоначально был обусловлен тем, что она в 30-40-х годах XX века стала одним из важнейших источников вольфрама в СССР. В отличие от многих исследователей месторождений вольфрама, В.Ф. Барабанов выполнил их комплексное минералогическое изучение, выявил типоморфные признаки минералов и предложил свое видение их генезиса [1].

По сути дела, и первый, наиболее полный, очерк истории изучения месторождения был дан им. Под его руководством был выполнен большой объем минералогических исследований с использованием современных методов (ДТА, ИКС, рентгеноструктурный анализ, микрозонд и др.). Исследовались не только отдельные кристаллы, но и их фрагменты, в частности, зональных кристаллов, что позволило получить первые данные по распределению примесей и свойств различно окрашенных зон кристаллов берилла. Эти же кристаллы изучены методами оптической спектроскопии. Было определено, что

светопреломление и плотность в бериллах зависит не только от содержания щелочей, но и Fe_2O_3 и что содержание их не коррелирует с концентрацией воды. Отсюда следовало, что лишь часть щелочей связана с изоморфизмом, другая же – с газовой жидкими включениями, как ранее показала Т.А. Лукьянова. На основе анализа оптических спектров поглощения было также предположено, что голубая окраска аквамарина обусловлена высоким значением соотношения $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$. В последствии учеником В.Ф. Барабанова Г.Н. Гончаровым совместно с А.В. Барабановым была высказана мысль о том, что изменение окраски от желтой до голубой зависит от возрастания соотношения $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ в структуре берилла. Однако определения форм железа химическим анализом не было сделано и вывод этот не подтвержден действительным соотношением двух и трехвалентного железа [1]. Как было показано нами на основе изучения соотношений этих форм железа методом ЭПР-спектроскопии, в ряду цветовой гаммы берилла от бесцветного через голубой, голубовато-зеленый, зеленый, желтый происходит нарастание доли трехвалентного железа, замещающего алюминий в октаэдрических позициях [59]. Кроме того, оказалось, что в бериллах Шерловой Горы в качестве хромофоров зеленой окраски присутствуют Cr и V [35, 43]. Открытыми остались вопросы источников вещества, РТХ условий, динамики и кинетики роста азональных и зональных кристаллов ювелирного качества.

И лишь в конце 1970-х – начале 1990-х Шерловая Гора стала объектом изучения специалистами экспедиции «Байкалкварцсамоцветы» и Института геохимии СО АН СССР.

Сотрудники Института геохимии СО РАН им. А.П. Виноградова выявили три типа геохимических аномалий: эманационные ореолы, ореолы грейзенового и гидротермального типов. Эманационный ореол начинает отчетливо фиксироваться в породах осадочной толщи, вмещающих интрузии, уже на расстоянии 800 м от поверхности кровли. Меньшие размеры и приуроченность к экзоконтактовым зонам интрузий обнаруживают литий, бор, фосфор, мышьяк, серебро, ниобий, хлор и натрий; ореолы вольфрама и бериллия отмечаются лишь в зонах ближнего экзоконтакта (Трошин и др., 1978 г.).

Геохимические эндогенные ореолы, связанные с формированием грейзенов, развиты в грейзенизированных гранитах и песчаниках, вокруг кварц-касситеритовых и кварц-вольфрамитовых рудных тел. Эти ореолы характеризуются высоким содержанием фтора, бериллия, лития и др. От эманационных ореолов экзоконтактовой зоны интрузий они отличаются только более высоким содержанием в ореоле молибдена, вольфрама, олова, висмута (Трошин и др., 1978 г.).

Ореолы гидротермального типа отображают сульфидно-касситеритовые (касситерит-сульфидные) и полиметаллические рудные тела месторождений. Отличительной чертой этих ореолов от эманационных является повышенное содержание бора, фосфора, мышьяка и рудных элементов: цинка, свинца, олова, меди (Трошин и др., 1978 г.). Знание природы этих ореолов определяло возможность выбора геохимических аномалий, с которыми связаны кварцево-жильные тела, продуктивные на камнесамоцветное сырье.

В 1990-е годы Байкало-Саянской экспедицией "Байкалкварцсамоцветы" произведена переоценка на цветные камни массива Адун-Челон и Шерловгорского гранитного массива. Доказано их промышленное значение. В пределах Шерловой Горы открыта жила Новая, давшая 12 проб общим весом 167 310 г. Размеры кристаллов составляли от 8-10 до 130 мм в длину и 5-40 мм в поперечнике. Совместно с ними было извлечено около 70 кг коллекционного материала в виде друз, щёток и отдельных кристаллов топаза, кварца и аквамарина. Содержание берилла в среднем составило 869 г/м^3 горной массы. Эти работы были продолжены в 1989 – 1996 гг. и дана положительная оценка месторождения на берилл. При этом оценка на топаз и горный хрусталь не предусматривалась, хотя фактически перспективность их была ясна.

В 1996-1998 годах (Г.А. Юргенсон, Т.Н. Юргенсон, 1996 г., Г.А. Юргенсон, 1998 г.) изучены технологические свойства камнесамоцветного сырья многих месторождений Забайкалья и дана их прогнозная оценка, выполнявшаяся по заданию геологической службы

региона. В результате получены числа запасов и прогнозных ресурсов, динамика которых приведена в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Запасы сортового берилла на Шерловогорском месторождении (по состоянию на 01.01.93)

Участок	Запасы, кг			Категория
	Всего	Фасетной огранки	Кабошон и галтовка	
Поднебесных, коренные	154	-	-	C ₂
россыпь	154,796	63,112	91,684	C ₁ + C ₂
Миллионная, россыпь	68,5	2,287	65,213	C ₁
Гелиодоровая, россыпь	74,8	-	74,8	C ₁
Всего	452,096	65,399	231,697	

Общие скорректированные цифры оценки прогнозных ресурсов берилла-сырца (берилл, аквамарин, гелиодор) Шерловогорского месторождения по состоянию на 01.01.1998 (Юргенсон, 1998 г.) даны в таблице 2.

Таблица 3

Прогнозные ресурсы берилла-сырца Шерловогорского месторождения

Объект	Ресурсы по категориям, кг				Источник
	P ₁	P ₂	P ₃	Итого	
Поднебесных коренные	-	-	975	975	Сычев, 1980
	425	-	-	425	Кычаков, 1993
Россыпные	259	-	-	259	Данилов, 1993
Миллионная	-	450	-	450	Кычаков, 1993
Новая	322	-	-	322	Сычев, 1980
Проявления Сопки Мелехинской	-	255	-	255	Кычаков, 1993
Перспективные площади эндоконтактной зоны	-	1018	-	1018	То же
- то же, в скрытых минерализованных телах	-	1811	-	1811	То же
Перспективные части прикуповольной части	-	-	680	680	То же
Участок жилы Новиковской					
- коренные	-	71	-	71	Наши данные
- россыпные	-	1244	-	1244	То же
Участок Восточный, коренные	-	1825	-	1825	То же
Золотой Отрог, россыпные	-	1091	-	1091	То же
Северный и северо-восточный склон сопки Обвинской	-	-	1698	1698	То же
Всего	10006	7765	3353	12124	

С учетом запасов берилла категорий C₁+C₂ в количестве 452,096 кг и ресурсов категорий P₁+P₂+P₃ в количестве 12124 кг следует считать Шерловогорское месторождение важнейшим реальным источником ювелирного берилла в стране.

В связи с тем, что, как показано выше, на Шерловой Горе присутствует ювелирный топаз, в 1998 г. впервые произведена оценка его ресурсов. Учитывая соотношение частой

встречаемости кристаллосырья топаза и берилла как 1:10, минимальные ресурсы топаза-сырца по категории P_1 учтены в количестве 100 кг, P_2 – 776 кг и P_3 – 330 кг, всего – около 1200 кг при выходе ограночных и других сортов 60%.

Ранее в качестве возможного ювелирного и коллекционного сырья никем не учитывались широко развитые здесь кристаллы кварца. Причина этого заключается в том, что кристаллы его обычно внешне невзрачны и непрозрачны, почти все они черные и обычно покрыты пленкой глинисто-гетитового, иногда с турмалином, материала.

В 2013 году автор обратил внимание на некрупные кристаллы прозрачного позднего кварца, добытые из выработки одного из старателей. Вырезанные из него и отполированные пластины оказались трехцветными. В них чередовались зоны лимонно-желтого и дымчато-сиреневого цвета с бесцветными, создавая своеобразный рисунок. В других кристаллах распределение дымчато-цитриновой и дымчато-сиреновой окраски оказалось секториальным, типичным для редкой разновидности кварца, именуемой аметрином. Название это происходит от сочетания аметиста (сиреневая часть) и цитрина (лимонно-желтая часть). В том же году в выработке старателя Балагурова на южном склоне Сопки Лукавой при её вершине собрано более 50 темно-дымчатых просвечивающих кристаллов кварца длиной до 15 см (рисунок 3), имеющих подобное строение и распределение окраски. Изучение тонких пластин, вырезанных из таких кристаллов, выявило их сложно-секториальное строение (рисунок 4). Изготовленный из такого кварца кабашон оказался весьма эффектным. Аметрин рассматривается как новый перспективный вид ювелирного и коллекционного сырья Шерловой Горы [33].



Рисунок 3. Кристаллы аметрина. Выработка Балагурова. Шерловая Гора. 2013 г.



Рисунок 4. Срез кристалла аметрина со сложным секториальным строением

Окраска отдельных зон и секторов аметрина обусловлена присутствием наряду с кремнекислородными тетраэдрами AlO_4^{-1} и FeO_4^{-1} тетраэдров, в которых в качестве компенсаторов зарядов присутствуют, соответственно, Na^{+1} и Li^{+1} . При этом для возникновения аметистовой окраски необходима кислая среда, которая обеспечивается

избытком фтора, о чем свидетельствует постоянное присутствие в жильном парагенезисе флюорита и топаза. Последний образует одну из послекварцевых генераций. Флюорит же выделяется после топаза [33].

Однако, непосредственно на Шерловой горе, несмотря на периодически возобновляемые поисковые и разведочные работы с попутной добычей, дело до промышленной добычи самоцветов на основе использования новых данных поисково-разведочных работ так и не дошло и до сих пор при добыче самоцветов не проводится изучение месторождения, предусмотренного лицензионными договорами. Несмотря на то, что лицензионным договором предусматривается обязательная документация выработок и представления отчета о проведенных геологоразведочных работах, начиная с 2016 года фактически продолжается хищническая добыча камня, а вся геологическая информация утрачивается. Причиной этого является не выполнение требований Закона о недрах как службой лицензирования и Геолконтроля, так и владельцами лицензий.

Для рационального и полного использования уникального сырья Шерловой Горы администрацией Забайкальского края необходимо совместно с владельцем лицензии провести работу по организации частно-государственного предприятия по полной переработке добываемого кристаллосырья на территории региона с выпуском готовой ювелирной и сувенирно-художественной продукции с привлечением в качестве соорганизатора этого предприятия одного из золотодобывающих предприятий.

Шерловая гора остается пока единственным в России источником аквамарина и гелиодора ювелирного качества.

Шерловая Гора как модельный объект познания природных процессов. В этом разделе кратко обобщены результаты многоплановых научных работ, периодически проводившихся в течение всех 300 лет разными исследователями.

А.Е. Ферсман на примере изучения минерального состава продуктивных на камнесамоцветное сырье локализованных в грейзеноподобных миароловых гранитах существенно кварцевых жильных тел и их миарол-раздувов пришел к выводу о том, что они занимают некое промежуточное положение между пегматитами и пневматолитами. Он отнес их пегматитам IV и V типа [28, стр. 107]. На стр. 120 этой работы он указывает, что Шерловая Гора пример «неразделения пневматолита пегматита». Для неё важную роль играет «процесс начала геофазы F», когда начинает образовываться берилл. Но на диаграмме 7 этой капитальной работы начало выделения зеленого берилла показано при 580-570 °С, затем выделяется синий, аквамарин и в конце бесцветный при примерно 429°С (таблица 23, Геохимическая диаграмма 7, стр. 123). На стр.120 он пишет в «в образовании месторождений Шерловой Горы принимают более деятельное участие остаточные пегматитовые расплавы и их позднейшие дистилляты». Тем не менее, далее он указывает, что мы имеем дело с пневматолитом смешанного типа и «...по времени осаждения процесс должен быть отнесен преимущественно к геофазам E-F-G. (стр. 122)». Шерловая Гора рассматривается в единой системе с Адун-Челоном с его пегматитами и переходом в « особые пневматолиты, которые путем пневматолита и вторичного воздействия на гранитную породу могут давать в ней самой начало тем своеобразным образованиям, которые на Шерловой горе являются под именем «кварцеватой породы»– носительнице аквамарина и вольфрамиты. Парагенетически все три переходят друг в друга» [28, стр. 563]. Отметим, что в результате изучения флюидных включений в берилле, топазе и кварце действительно удалось доказать, что начало кристаллизации топаза происходило с большим участием газовой фазы, а берилл уже кристаллизовался из остаточных растворов-расплавов при температуре 642–633 °С [42, 60]. Действительно, впоследствии единство магматизма Адун-Челона, давшего миароловые пегматиты, и Шерловой Горы, где сформировались специфические грейзеноподобные минеральные тела с бериллом и топазом из остаточных растворов -расплавов, было доказано А.И. Кулагашевым (рисунок 5). Следовательно, мы можем ожидать на глубоких горизонтах Шерловой Горы пегматиты, аналогичные адун-челонским.

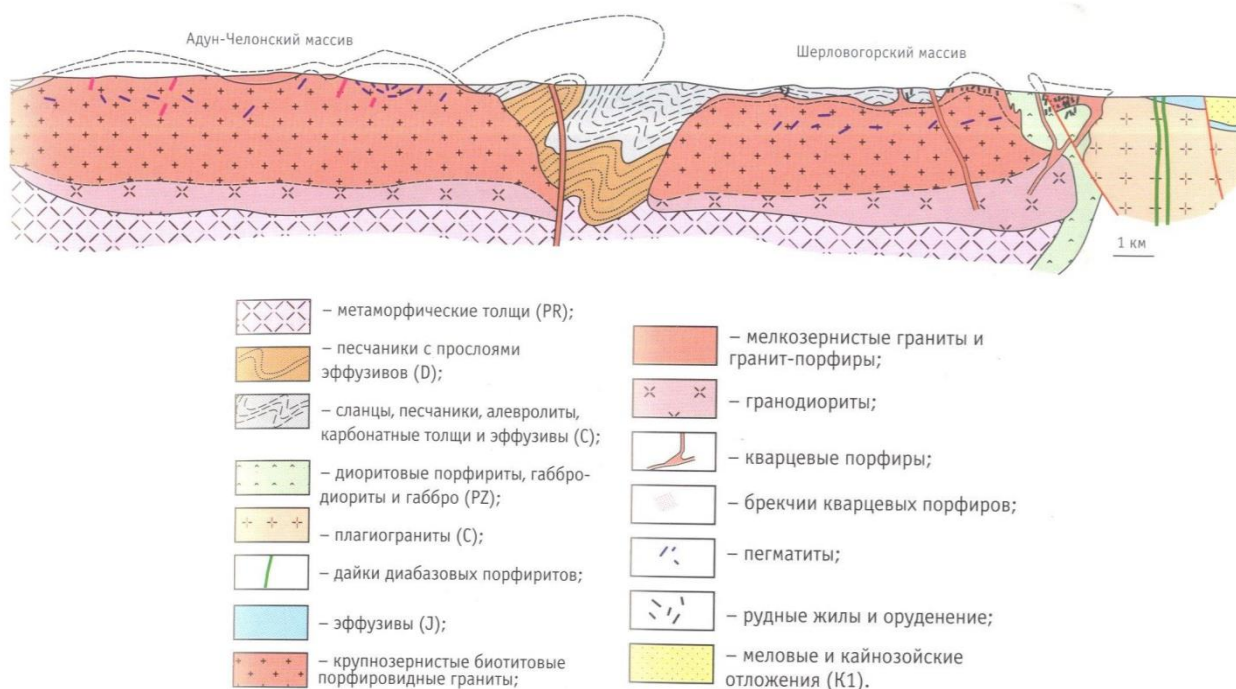


Рисунок 5. Сочленение Адун-Челонского и Шерлогогорского гранитного массивов. По А.И. Кулагашеву (1971) с уточнениями по [40]

В процессе изучения форм и строения кристаллов берилла обнаружены индивиды и их сростки, характеризующиеся треугольным и ромбическим сечением (рисунок 6), совершенно типичным для формы элементарной ячейки (рисунок 7).



Рисунок 6

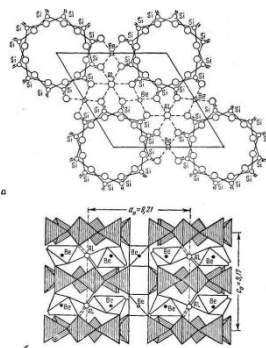


Рисунок 7



Рисунок 8

Такие индивиды и сростки обычны для резко изменяющихся условий кристаллизации, приводивших к её прекращению и невозможности сформироваться впоследствии типичной для берилла формы гексагональной призмы. Нередко это четко иллюстрируют сечения поликристаллов берилла (рисунок 8).

В 2005-2021 годах в творческом содружестве с О.В. Кононовым с использованием микрондового анализа проведено изучение изменчивости химического состава берилла в пределах зональных кристаллов с максимальным сечением до 2-х см на поперечных разрезах. Содержание алюминия от центра кристалла чаще всего к периферии уменьшается, а примесей – возрастает. Примесью, замещающей позиции алюминия, в основном, является железо, содержание которого во внешней зоне на порядок выше, чем во внутренней. Подобный характер имеет также и распределение марганца. Магний, хром, ванадий и титан, а также галлий преобладают во внутренней зоне. Щелочные металлы: натрий, калий, частью цезий, занимающие каналы в кольцевой структуре берилла, преобладают во внешней зоне. Наиболее распространенным хромофором в шерлогогорских бериллах является железо,

содержание которого варьирует в широких пределах, образуя максимум (1,305-0,95% Fe₂O₃) в чисто голубых и светло-голубых разностях, отличающихся также относительно повышенными содержаниями Cr₂O₃ (таблица 4). Распределение скандия, замещающего железо в тетраэдрических позициях, симметрично относительно осевой части кристалла, нарастая к пригранным частям в крупных кристаллах (рисунок 9).

Таблица 4

Средние содержания (мас.%) примесей элементов-хромофоров в бериллах

Цвет	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	MnO
Голубой	1,305	0,02	0,018	0,022
Светло-голубовато-зеленый	0,980	0,02	0,02	0,034
Светло-зеленовато-голубой	0,923	0,035	0,028	0,02
Зелено-голубой	0,255	0,011	0,036	0,014
Зеленый	0,51	0,09	0,04	0,005
Светло-желтый	0,49	0,012	0,039	0,024
Желтый	0,32	0,005	0,04	0,005
Темно-желтый	0,76	0,025	0,013	0,041

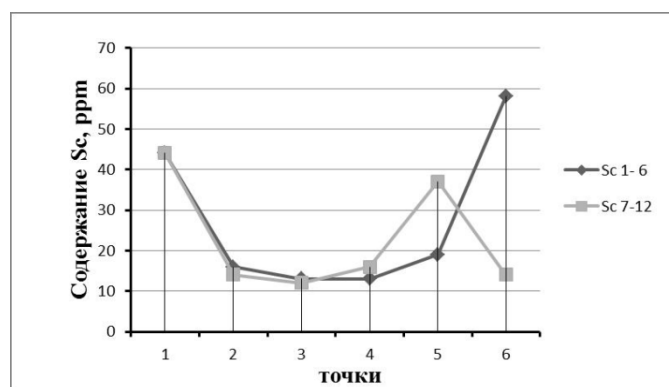


Рисунок 9. Распределение примеси скандия в поперечном сечении зелёно-голубого кристалла берилла размером 7x10 см. Светлая линия соответствует сечению, где в точке 6 цвет становится зеленым. Образец 12/35. Мелехинская Сопка. Шерловая Гора.

Впервые для Шерловой Горы выявлены зеленые бериллы, окраска которых обусловлена входением хрома и ванадия наряду с железом в позиции алюминия.

В некоторых зеленовато-голубых, светло-зеленых и зеленых кристаллах содержание Cr₂O₃ достигает 0,09% (таблица 4), что сопоставимо с таковым в изумрудах. Поэтому такие кристаллы отнесены к изумрудам [35]. Это позволяет сделать вывод о присутствии на Шерловогорском месторождении изумрудной минерализации, подтверждающие наши предположения [Юргенсон, 2001].

Получена пока еще не понятая зависимость зеленой окраски от примеси циркония, не связанной с включениями твердых фаз циркона.

Именно на основе изучения всей широчайшей цветовой гаммы кристаллов берилла от почти бесцветных и светло-голубых до ярко-зелёных и густо-оранжевых на основе использования ЭПР-спектроскопии доказана роль возрастания в этом направлении соотношения трех и двухвалентного железа [59] (рисунок 10). Показано, что голубая окраска обусловлена входением двухвалентного железа в тетраэдрические позиции. Подтверждены основные выводы о природе окраски берилла, изложенные в работах [21, 22].

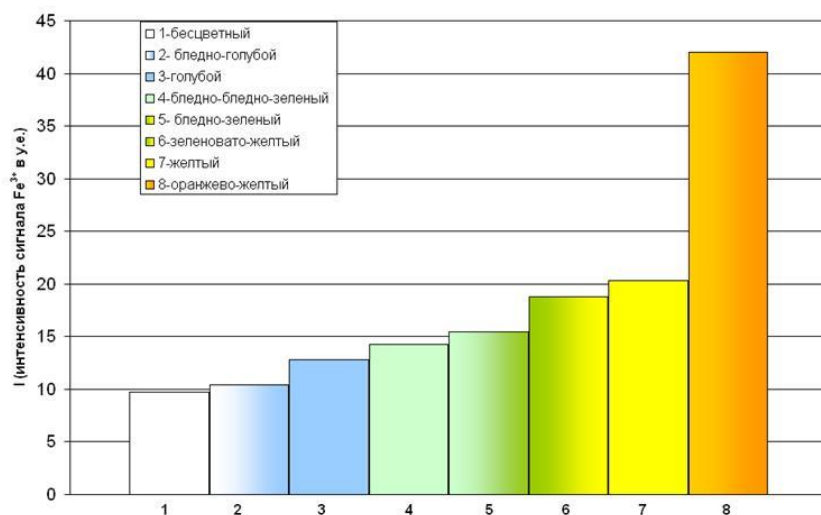


Рисунок 10. Зависимость окраски берилла в ряду бесцветные-голубые-зеленые-желто-оранжевые от возрастания доли трёхвалентного железа в позиции алюминия по данным ЭПР-спектроскопии По:[59]

В результате изучения срезов кристаллов методом электронной микроскопии впервые на примере кристаллов берилла Шерловой Горы установлены формы примесей РЗЭ, мышьяка, циркония, фосфора в виде микронных примесей монацита, ксенотима, циркона, арсенопирита [35-37, 43, 53] (рисунок 11).

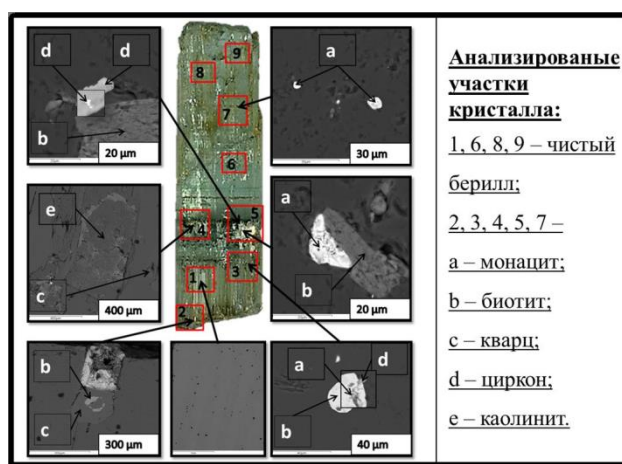


Рисунок 11. Включения фрагментов минералов-носителей примесей в кристалле берилла. Образец 12/290.Электронно-микроскопические снимки сканирования среза кристалла вдоль оси c.

На рисунках 12 и 13 показаны формы включений циркона и окисленного арсенопирита в кристаллах берилла.

Показаны причины продольной ритмичности окраски аквамарина по причине изменения соотношений двух и трехвалентного железа, а также количеств его вхождения в структуру берилла вследствие как раскрытия и закрытия минералообразующей системы, так периодического изменения пересыщения им (рисунок 14), а также резкого перехода аквамарина в гелиодор (рисунок 15).

Изучены кристаллы топаза [7, 8, 31, 34, 40]. Формы их отличаются очень слабым развитием грани пинакоида. Среди них, как продукты неустойчивого процесса кристаллизации, присутствуют зональные кристаллы, так называемые «конёвьи зубы». У них зона диэдра, как правило, замутнена и имеет тонко-ритмичное строение. Показана возможность изоморфного замещения кремния на фосфор в некоторых кристаллах топаза

[16]. Большинство кристаллов топаза являются высокофтористыми. В результате изучения состава и свойств топаза получены новые данные о влиянии облучения на его окраску [16].

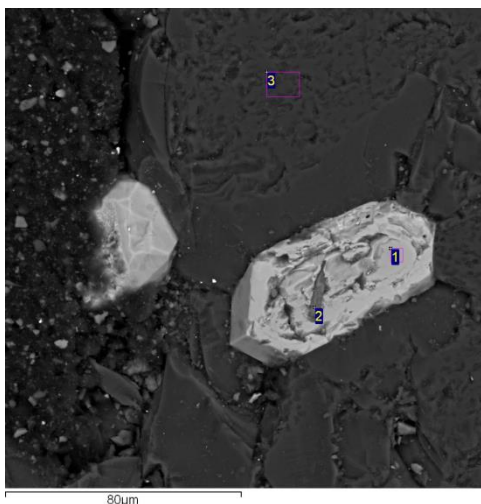


Рисунок 12. Кристалл циркона (1) с включением (2) в дислоцированном берилле. Электронно-микроскопический снимок.

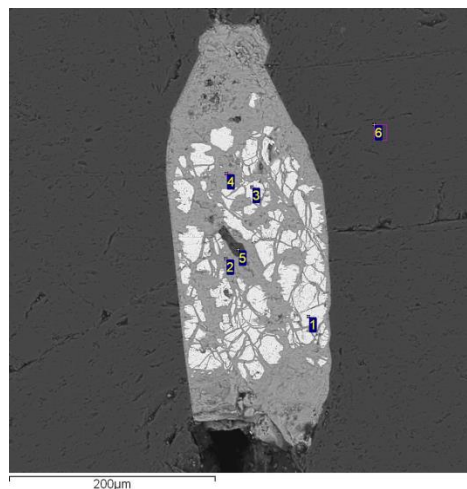


Рисунок 13. Замещенный скородитом (2, 4) кристалл арсенирита(1, 3), содержащий включение кварца (5) в кристалле берилла (6). Электронно-микроскопический снимок.



Рисунок 14. Ритмично-зональный аквамарин с переходами в зеленоватый и желтоватый.



Рисунок 15. Резкий переход аквамарина в гелиодор.

Установлено, что во внешних зонах многих зональных кристаллов содержание фтора резко уменьшается, а фосфора и алюминия, замещающих тетраэдрические позиции кремния, увеличивается. Очевидно, это связано с изменением флюидного режима, обусловленного вероятно, с перепадом давления и закономерным снижением кислотности минералообразующих флюидов. Таким образом, содержание и характер распределения фтора, алюминия и фосфора, замещающих тетраэдрические позиции кремния, являются типоморфными признаками, свидетельствующими об изменении физико-химических условий кристаллизации топаза, определяющих совершенство кристаллов и их качество.

В результате определено, что большая часть кристаллов топаза, содержащего парамагнитные примеси алюминия и фосфора является материалом, годным для обогащения. Широко развитый как в грейзенах, так и в продуктивных на

кондиционный берилл минеральных телах, топаз преимущественно образует щетки, поздние генерации которого обрастают берилл и кварц [7, 8, 31].

Среди силикатов бора наряду с турмалином, лишь изредка представленным шерлом [28], встречены также аксинит и данбурит [12]. Шерловогорский турмалин отличается от турмалина пегматитов и кварц-вольфрамитовых жил постоянным присутствием на ИК-спектрах широкой полосы 3550 см^{-1} и её плечом, связанным с неструктурной водой, а также полосой в области 3620 см^{-1} с плечом, связанным, вероятно, с примесью щелочных металлов [13]. Среди изученных турмалинов обнаружены содержащие существенное количество фтора, формульный коэффициент которого достигает 0,5. Часть турмалинов, согласно полученным рентгенометрическим данным, вполне может быть отнесена к олениту. Бериллий наряду с главным его носителем бериллом изредка встречается в виде бавенита и даналита.

Широко развитый в грейзенах и продуктивных на камнесамоцветное сырье жильных телах вольфрамит представлен, в основном, ферберитом, содержащим 20-22% FeO [1]. Особенностью кристаллов ферберита является их преимущественно короткопризматический габитус. Редко, поздние постберилловые, его генерации образуют уплощенные длинно призматические кристаллы длиной до 3 см. Вольфрамит обычно выделяется ранее берилла второй генерации и до топаза третьей генерации. Особенностью состава его является возрастание марганцовистости к концу роста кристаллов [40]. К внутренним частям их приурочено наибольшее содержание скандия [41], а по мере возрастания доли гюбнеритовой молекулы возрастает и содержание ниобия и тантала [40].

На примере вольфрамита Шерловой Горы впервые установлено аномальное возрастание доли содержаний тяжелых РЗЭ по сравнению с наиболее распространёнными легкими элементами цериевой подгруппы [63], обусловленное накоплением их в остаточных растворах-расплавах, из которых росли его кристаллы, захватывавшие мелкие включения монацита и ксенотима [37, 42, 43, 60, 63]. Подобная же закономерность впоследствии выявлена и для вольфрамита Антоновой Горы и Букуинского месторождения. Это явление связано с лантаноидным сжатием, фундаментальным свойством РЗЭ.

Изучение процессов гипергенеза и современного минералообразования.

Фундаментальные результаты получены при изучении зоны гипергенеза и процессов современного минералообразования на примере открытых воздействию всех факторов этого процесса в карьере и массивах отходов разработки оловополиметаллических руд месторождения Сопка Большая [24, 30, 32, 44-46, 50].

Уже самые первые исследования зоны гипергенеза показали широчайшее развитие различных арсенатов как продуктов последних низкотемпературных гидротерм и гипергенеза. Особенностью Шерловой Горы является существенная роль фтора в минералообразовании на всех этапах её становления. Он входит в состав топаза, слюд, участвует в форме фторбериллата в образовании берилла. Одним из относительно распространенных химических элементов в ассоциации с оловом, вольфрамом является висмут. Сочетание висмута с арсенатом дает редкий минерал рузвельтит BiAsO_4 [24, 38], а соединение его с фтором и кислородом привело к образованию открытого здесь впервые заварицита BiOF [11]. Наряду с рузвельтием в ассоциации со скородитом отмечаются ателестит $((\text{Bi}_2(\text{AsO}_4)\text{O}(\text{OH}))$ [12, 24, 40]. Кроме того, обнаружен железистый рузвельтит $((\text{Bi,Fe})\text{AsO}_4)$ представляющий, возможно, переходную разновидность между рузвельтитом и скородитом, содержащую (мас.%) Bi – 59,2; Fe – 2,47; As – 20,92; O – 16,24 [24].

Среди редких арсенатов РЗЭ в окисленных рудах Шерловогорского оловополиметаллического месторождения известен Агардит – $(\text{Y})(\text{Y,Ca})\text{Cu}_6(\text{AsO}_4)_3(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ Он детально описан А.В. Касаткиным, К.И. Клопотовым и Я. Плашилом [12]. Всего к настоящему времени установлено и с различной степенью детальности описано 22 минеральных вида этого класса минералов.

Выявлено до 36 видов сульфатов, среди которых наиболее распространены сульфаты магния, цинка, железа, меди. Среди них выявлены группы изоморфных рядов

взаимозамещающихся двухвалентных катионов магния, цинка, железа, меди, а также сульфаты одного и того же катиона, в частности, цинка, магния, железа и меди с различным числом молекул кристаллизационной воды, образующихся в переменных физико-химических условиях испарительных восстановительных геохимических барьеров [50].

Среди широко распространенных выявлены ряды сульфатов магния, цинка, меди с различным числом кристаллогидратной воды. Сульфаты магния представлены кизеритом ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), впервые обнаруженным белого цвета минералом с формулой $\text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, еще не описанным в литературе, старкеитом ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), пентагидритом ($\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), гексагидритом ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), эпсомитом ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Диагностика этой минеральной ассоциации осуществлена методами термогравиметрии и рентгенофазового анализа. Сульфаты цинка представлены рядом: ганнингит ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), бойлеит ($\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), бианкит ($\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), госларит ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).

Сульфаты меди представлены халькокианитом (CuSO_4), одноводным сульфатом меди ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), бонаттитом ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), халькантитом ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) и сидеротилом. Халькантит образует корки, гнезда в халькопирит-содержащих олово-полиметаллических рудах. Находится в ассоциации сидеротилом, бонаттитом, гипсом, кизеритом, ганнингитом, калиевыми квасцами, одноводным сульфатом меди ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), каолинитом, хлоритом (Обр. № ШГ-10/141-1). Параметры э.я. халькантита: $a=7.16(5)$; $b=10.7(1)$; $c=5.96(4)\text{Å}$; $\alpha=97.6(2)^\circ$; $\beta=125.3(2)^\circ$; $\gamma=94.4(2)^\circ$; $V=362.7\text{Å}^3$; Параметры э.я. разных образцов халькантита практически одинаковы для образцов, образовавшихся близко одновременно (2010 год): обр. ШГ-10-140 СМО $a=7.16(6)$; $b=10.7(1)$; $c=5.95(5)\text{Å}$; $\alpha=97.56(26)^\circ$; $\beta=125.45(26)^\circ$; $\gamma=94.38(25)^\circ$; $V=362.3(2.2)\text{Å}^3$ и различаются для образцов разных лет: обр. ШГ-08-182-А (2008 год): $a=6.08(5)$; $b=10.7(1)$; $c=5.94(6)\text{Å}$; $\alpha=97.8(3)^\circ$; $\beta=107.4(2)^\circ$; $\gamma=77.14(3)^\circ$; $V=359(2)\text{Å}^3$. В ассоциации с халькантитом находится базальюминит $\text{Al}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Бонаттит ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) встречен в трех местах в ассоциации с халькантитом, сидеротилом, старкеитом (обр. ШГ-07-256-2). Голубой, в виде неправильных зерен и их агрегатов. Параметры э/я $a=5.59(1)$; $b=13.04(1)$; $c=7.36(1)\text{Å}$; $\beta=97.2(2)^\circ$; $V=352\text{Å}^3$.

Выявлены изоморфные ряды как у сульфатов с одной молекулой кристаллогидратной воды, так и с четырьмя: 1) кизерит ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – ганнингит ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) – смикит ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и ссомольнокит ($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и 2) происходит взаимозамещение цинка, магния, железа и марганца, кобальта: бойлеит ($\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – старкеит ($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), бойлеит ($\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – роценит ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – эпоуит $\text{CoSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Это же относится и к сульфатам меди: сидеротил ($\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) – халькантит ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Сульфаты из группы квасцов представлены изоморфным рядом галотрихит ($\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$) – пиккеренгит ($\text{MgAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), а также плюмбоярзитом.

Из сульфатов марганца в составе корочек на топазе и кварце, а также новообразований из временных водных потоков в карьере установлен илезит (MnSO_4) в ассоциации с бойлеитом ($\text{Zn, Mg}\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, пиккерингитом и роценитом $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Параметры э.я. бойлеита обр. ШГ – 10/121 – 1: - $a = 5.928 (\text{Å}) \pm 0.01$, $b = 13.607(\text{Å}) \pm 0.01$, $c = 7.92 (\text{Å}) \pm 0.01$. Состав катионов: MgO 12.4%, ZnO 11.7%, CuO 0.245%, MnO 2.70%. Параметры э.я. роценита: $a = 5.95 (\text{Å}) \pm 0.01$, $b = 13.60 (\text{Å}) \pm 0.01$, $c = 7.94 (\text{Å}) \pm 0.01$. Состав катионов: MgO 3.09%, ZnO 10.0%, Fe_2O_3 20.7%, CuO 0.266%, MnO 0.333%, NiO 0.173%, CaO 0.709%.

Пиккерингит $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ (обр. ШГ – 10-1 СМО) находится в тонком проращении с бойлеитом, илезитом $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Присутствие последнего доказано примесью MnO (3.74%) и данными рентгенофазового анализа.

Сульфаты кобальта представлены минералами, содержащими различные количества кристаллогидратной воды, а именно: эпоуитом $\text{CoSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (обр. ШГ-07/250), мурхаузитом $\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, биберитом ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) обр. ШГ-05/150А. Все они встречаются как примесные минералы к сульфатам цинка и железа в виде мелких плохо образованных зерен. Из сульфатов никеля установлен Ni-гексагидрит $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (обр. ШГ – 10/186-2)), а также $\text{NiSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, пока не имеющий названия.

Ссмикит ($MnSO_4 \cdot H_2O$) выявлен в корочках на берилле, топазе и кварце. Ссомольнокит ($FeSO_4 \cdot H_2O$) встречен в тонких прожилках в кварцевых порфирах, грейзенах, а также в черных корках, облегающих кристаллы кварца, топаза и берилла в ассоциации с гетитом и гидрогетитом.

Получены первые рентгенометрические данные о возможности присутствия в ассоциации каолинитом, иллитом, амфиболом сульфата циркония $Zr(SO_4)_2 \cdot H_2O$, не имеющем собственного названия (рисунок 16. , образец ШГ-07/245).

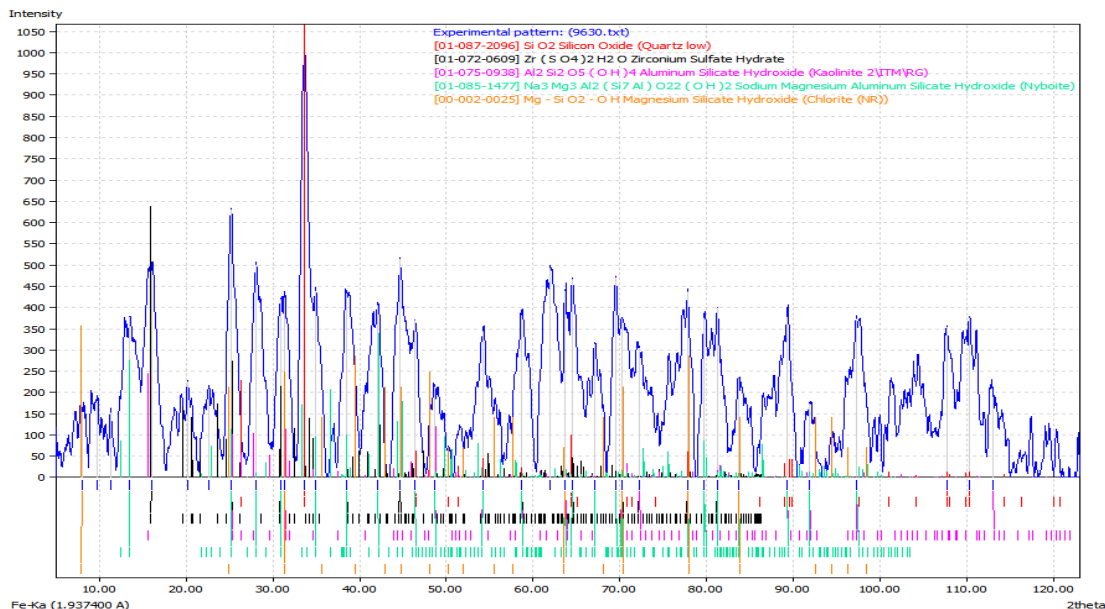


Рисунок 16. Дифрактограмма с пиками отражений, соответствующих сульфату циркония (черные пики). Образец ШГ-97/245.

Широко проявлены окислы и гидроокислы (36 видов), около 30 видов сульфидов, сульфосолей, арсенидов и теллуридов. Среди них наиболее широко развиты арсенопирит, пирит, галенит и сфалерит, а также станнин [40]. Особенностью арсенопирита является примесь никеля и кобальта, а также висмута и свинца. Содержания никеля и кобальта обратно пропорциональны содержанию железа, замещая его [17]. Содержания сурьмы в нём достигают 0,1%. Отмечается присутствие висмута в нём до 3% в существенно кварцевых грейзенах. Присутствует в нём и олово с максимальными содержаниям до 800 г/т в кварцево-слюдистом грейзене [4, 5, 15]. Выявлено зональное распределение примесей в касситеритах [4].

Обнаружены редкие галогениды, такие, как бромаргирит и иодаргирит [40]. Силикаты представлены 49-ю видами, из которых наиболее развиты полевые шпаты, мусковит, часто железистый, и нередко в ассоциации с окисленным бериллом развит сидерофиллит. Каолинит и дикцит входят в состав глин, содержащих кондиционные кристаллы берилла.

Установлено, что глинистая составляющая, входящая в состав рыхлого материала в полостях с камнесамоцветных и редкометалльным сырьем, представлена каолинитом, иллитом и смектитами. Она характеризуется относительно высокими содержаниями редких земель иттриевой подгруппы, кратно превышающими их кларки [45, 48]. В результате промывания отмученных глин водой из них легко вымываются редкоземельные элементы, содержания которых также превышают кларки для природных вод. Полученные первые данные о возможности перехода в миграционное состояние редких земель водой свидетельствуют о возможности образований их аномалий в природно-техногенном и геотехногенном ландшафте [48].

Новые данные о биогеохимии растений, полученные в результате изучения поведения химических элементов пределах Шерловского рудного района в системе: горная порода (руда)→кора выветривания (зона окисления)→ почва (отходы горного производства)→растения→их органы.

Шерловгорский рудный район вследствие широкого разнообразия видов оруденения, вариаций содержаний химических элементов в этом ландшафте представляет большой интерес для исследования его компонентов. Основная концепция заключается в том, территория горно-промышленного района рассматривается как ландшафтно-геохимическая геосистема и к применен системный подход как в смысле объектов исследований, так и методов. Поскольку перечисленные выше компоненты геосистемы пространственно и генетически взаимосвязаны, и главный результат должен быть соотнесен с влиянием на биоту и человека, основным объектом исследований выбирался вид растений, имеющий определяющее значение прежде всего как источник пищи для животных, полезных человеку. Поскольку далеко не все химические элементы в определенных концентрациях в почвах и растениях являются токсичными, все горно-промышленные геосистемы Забайкалья расклассифицированы и среди них выявлены две главные группы – мышьяковые и безмышьяковые, а среди них обогащенные сурьмой, свинцом, цинком, кадмием и другими. Шерловгорская геосистема, относится к содержащей экологически опасные мышьяк, свинец, сурьму, кадмий и другие элементы.

Для решения задачи разработана методология, включающая сбор, подготовку к анализу, анализ как минеральной, так и биотической составляющей ландшафта [24, 38, 47, 48]. Изучены распространенность и содержания в ландшафте мышьяка [24, 62], висмута [38, 61], цинка и кадмия [51], церия [49], РЗЭ [30, 52], вольфрама и молибдена [47].

Изучены биогеохимические особенности наиболее распространенных пионерных растений, типичных для геотехногенного ландшафта Шерловгорского рудного района. К ним отнесены полынь Гмелина [24], таран узколистный [24], мак голостебельный [24], лапчатка скученная [24, 61] и другие растения. Для полыни Гмелина получены первые данные по содержанию мышьяка [9, 23, 24, 47], свинца [9], вольфрама [47], молибдена [47] и других элементов.

Одним из важнейших выводов, полученных из анализа этих данных, является практически единая закономерность, заключающаяся в том, максимальные содержания всех изученных элементов захватываются корнями растений, существенно меньшие содержания находятся в стеблях, являющихся транспортным их проводником в листья, где они накапливаются, участвуя в метаболизме, прежде всего, в фотосинтезе. Минимальное количество токсичных элементов находится в семенах, вероятно, за счет защитного механизма растения, обеспечивающего чистоту вида и обеспечение воспроизводства здорового потомства. Второй важный вывод, полученный в результате изучения коэффициента биологического поглощения химических элементов растениями, заключается в том, что все они по особенностям корневых систем подразделяются на две группы: барьерные и безбарьерные относительно определенных химических элементов. Отсюда следует практический вывод, заключающийся в том, что растения с барьерными корневыми системами можно использовать для биологической рекультивации отходов горного производства.

Вклад Шерловгорского горного комплекса в разгром Квантунской армии для обеспечения победы над Японией во время завершения Великой отечественной войны. Шерловая Гора в директивах Главного командования и Постановлениях Совмина СССР.

Шерловая Гора занимает господствующее положение во всхолмленном рельефе степной зоны Юго-Восточного Забайкалья, чем определяется ее важное военно-стратегическое значение. Это 15 сентября 1941 года послужило причиной создания в начале Великой Отечественной войны Забайкальского фронта с расположением его штаба в пос. Ширлова Гора, ориентированного на противодействие готовящегося наступления Квантунской армии милитаристской Японии.

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.) было приказано организовать уничтожение противника и далее перейти в наступление на территории Монголии и Китая.

Штаб в Шерловой Горе был во время военных действий летом 1945 года местом работы маршала Р.Я. Малиновского.

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.

Шерловая Гора как источник урана для создания советской атомной бомбы

Шерловая Гора в конце 1940-х считалась одним из возможных источников урана для советской атомной промышленности. Об этом свидетельствует такой факт: 25 сентября 1948 года И.В. Сталин подписал Постановление Совета министров СССР №3583-1443 сс (совершенно секретно) «О контрольных цифрах к плану специальных работ на 1949 год», в котором поручалось «...Первому главному управлению при Совете министров СССР и Министерству металлургической промышленности рассмотреть вопрос о целесообразности организации в 1949 г. добычи и переработки руд А-9 на месторождении Шерловая Гора...». А-9 – это закодированное название урана. Причиной для такого решения было открытие торбернита или урановой слюдки зеленого цвета в зоне окисления оловянных руд на Кварц-турмалиновом отроге Шерловой Горы. В 1946 году проведена детальная разведка и подсчитаны запасы урана в 147 т при содержании 0.07 %.

Но развернуть работы на Шерловой Горе помешало открытие Ермаковского месторождения урана на Севере Забайкалья в так называемом Мраморном ущелье к северу от Чары. Вскоре вследствие малых запасов оно было оставлено, и опять обратились к Шерловой Горе.

В постановлении Совета Министров СССР от 14 февраля 1950 года вновь было указано на необходимость освоения по этой причине «фосфорных руд» Шерловогорского месторождения. Так были зашифрованы руды с торбернитом и другими фосфатами урана.

Но и в этот раз добычу урана на Шерловой Горе не организовали, так как в Балейском районе в предгорьях Борщовочного кряжа началась добыча минерала монацита, содержащего как торий, так и уран. Кроме того, в Ферганской долине в Средней Азии также были найдены проявления урана Тюямуюн.

Библиографический список

1. Барабанов В.Ф. Минералогия вольфрамитовых месторождений Забайкалья. Т. 2. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1975. – 360 с.
2. Беус А.А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. – М.: Изд-во АН СССР. – 330 с.
3. Болдырев А.К., Луи Я.А. Разведка коренных месторождений руд вольфрама, олова, висмута и бериллия на Шерловой горе (в Забайкалье) и дополнительные данные разведки россыпей там же в 1928 и 1929 гг. // Горн. журн. – 1929. – № 8, 9. – С. 1338-1964.
4. Бойко С.М. Элементы-примеси в касситеритах оловорудных месторождений как индикатор зонального распределения компонентов в рудных телах // Записки Забайкальского филиала географического общества СССР. – 1982. – Вып. 48. – С. 39-43.
5. Бойко С.М., Гребенщикова В.И., Трошин Ю.П. Использование типоморфных минералов при поисках цветных камней (на примере Шерловой Горы) // Типоморфизм и его прикладное значение: тез. докладов предстоящих Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана (к 100-летию со дня рождения). Отв. ред. Г.А. Юргенсон. – Чита: ОНТИ ЗабНИИ, 1983. – С. 112-115.
6. Гайворонский Б.А. Шерловогорское месторождение // Месторождения Забайкалья. Кн.1. Чита-Москва: Геоинформмарк, 1995. – С. 130-133.
7. Горячкина А.Г. Камнесамоцветное сырье Шерловогорской рудно-магматической системы // Канд. дисс. Чита, 2002.
8. Горячкина А.Г. Свойства ограночного топаза Шерловой Горы. // Новые идеи в науках о Земле: VI Международн. конф. – Москва, 2003. – С. 21.
9. Гудкова О.В., Юргенсон Г.А. Содержание тяжелых металлов в полини Гмелина на территории Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VIII магния, цинка, железа, меди. Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 24 – 27 ноября 2008 г., Россия. Чита, 2008. – С. 56-58.

10. Доломанова Е.И., Нестерова Ю.С., Арапова Г.А. Бёдантит Тl и Sn-содержащий из месторождения Сопки Большой Шерловой Горы (Восточное Забайкалье) // Труды Минералог. Музея АН СССР. 1962а, вып.13, с. 179-190.
11. Доломанова Е.И., Сендерова, В.М., Янченко М.Т. Заварицкит – новый минерал из группы оксифторидов // Докл. АН СССР 1962б, Т.146, №3. – С. 680-682.
12. Касаткин А.В., Колотов К. И., Плашил Я. Гипергенные минералы Шерловой Горы // Минералогический альманах. 2014. Т. 19. Вып. 2. – С. 94-139.
13. Козаченко А.А., Юргенсон Г.А., Аносов П.М., Распопина О.А. Полосы поглощения ОН-Х-групп в турмалине как типоморфный признак // Типоморфизм и его прикладное значение: тез. докладов предстоящих Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана (к 100-летию со дня рождения). Отв. Ред. Г.А. Юргенсон. – Чита: ОНТИ ЗабНИИ, 1983. – С.116-119.
14. Кокшаров Н.И. Материалы для минералогии России. Ч. 2. 1852 – 1855.СПб, 1856. 243 с.
15. Кокшаров Н. И. Материалы для минералогии России. СПб. Т. 1-6, 1852-1877.
16. Кононов О.В., Вяткин С.В., Кошуг Д.Г., Норкина А.Г., Соболева Т.А., Юргенсон Г.А. Влияние γ -облучения и отжига на окраску топазов Шерловой Горы // Доклады XI Международн. конф. «Новые идеи в науках о Земле». МГРИ-РГГУ. М., Ваш полиграфический партнер, 2013, Т. 1. – С. 254-256.
17. Кононов О.В., Юргенсон Г.А. К геохимии арсенопирита как источника токсикантов в ландшафте Шерловогорского рудного поля // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: Труды V Всероссийского симпозиума с международным участием и XII Всероссийских Чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 10–12 декабря 2014 г. – Чита: Поиск. – С. 52-54.
18. Кулибин А.И. Описание кряжа Адун-Чилона // Горный журнал. – 1829. –Ч.IV. – С. 5-42.
19. Онтоев О.Д. Стадийность минерализации и зональность месторождений Забайкалья. – М.: Наука, 1974. – 244 с.
20. Паллас Петр Симон. Путешествие по разным провинциям Российского государства. Часть третья. половина первая.1772 и 1773 годовъ. Перевел Василий Зуевъ. Въ Санктпетербургѣ, при импаторской Академїи наукъ 1788 года, 624 с.
21. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. – М.: Недра, 1984. – 196 с.
22. Сахаров А.Н. Формы нахождения железа в берилле и их геохимическое значение // Канд. Дисс. СПб., 1987.
23. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А., Смирнова О.К. Мышьяк в полини Гмелина Шерловогорского горнорудного района // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VIII магния, цинка, железа, меди. Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 24– 27 ноября 2008 г., Чита, Россия. – Чита, 2008. – С. 83-87.
24. Солодухина М.А., Юргенсон Г.А. Мышьяк в ландшафтах Шерловогорского рудного района (Восточное Забайкалье). – Чита: Изд-во ЗабГУ, 2018. – 176 с.
25. Сущинский П.П. Очерк месторождений цветных камней Юго-восточного Забайкалья // Тр. Ин-та прикладной минералогии и петрографии, 1925. – Вып. 16. – 88 с.
26. Титов В. Заметки о месторождениях цветных камней и соляных озерах Нерчинского края // Горн. журн., 1855. – Кн.6. – С. 1-493.
27. Фекличев В.Г. Берилл М.: Наука, 1964. – 118 с.
28. Ферсман А.Е. Пегматиты. Т.1: Гранитные пегматиты. – М.; Л.; Изд-во АН СССР, 1940. – 712 с.
29. Ферсман А.Е. Драгоценные и цветные камни СССР // Избр. тр. – М. Изд. АН СССР, 1962. – Т. 7. – 534 с.
30. Эпова Е.С., Русаль О.С., Еремин О.В. Редкоземельные элементы в зоне гипергенеза Шерловогорского оловополиметаллического месторождения (Забайкальский край). Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 8. – С. 88-95. DOI:000442794400008
31. Юргенсон Г.А. Ювелирные и поделочные камни Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 2001. – С.111-175.
32. Юргенсон Г.А. Современное минералообразование как критерий состояния водных экосистем // Водные ресурсы и водопользование. Вып. 3. – Екатеринбург-Чита: Изд-во ЧитГУ, 2007. – С. 11-15.
33. Юргенсон Г.А. Первая находка ювелирного дымчатого аметрина в жилах с самоцветами Шерловой Горы (Восточное Забайкалье) // Вестник ЗабГУ. 2014. № 6. – С. 28-34.
34. Юргенсон Г. А. Ювелирные камни Забайкалья. Промышленные месторождения пегматитов и грейзенов. Чита: Изд-во Забайкальского государственного университета, 2016, Ч. 1. – 147 с.
35. Юргенсон Г.А., Борзенко А.А. Ванадий в кристаллах берилла Шерловой Горы (Юго-Восточное Забайкалье) // Успехи современного естествознания. 2018. № 5. – С. 164-168.
36. Юргенсон Г.А., Борзенко А.А. Первые данные о содержании циркония в кристаллах берилла Шерловой Горы (Юго-Восточное Забайкалье) // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана. Чита: Изд-во ЗабГУ, 2018а. – С. 60-63.

37. Юргенсон Г.А., Борзенко А.А. Циркон в зональных кристаллах берилла Шерловой Горы (Юго-Восточное Забайкалье) // *Успехи современного естествознания*. – 2018б. – № 11. – С. 173-178. DOI 10.175/use.36923
38. Юргенсон Г.А., Горбань Д.Н. Особенности распределения висмута в почвах, технозомах и растениях Шерловогорского рудного района // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2017. №7 – 1. – С. 111-116.
39. Юргенсон Г.А., Горячкина А.Г. Новое в истории открытий самоцветов в Забайкалье // *Зап. ВМО*. – Ч.СXXXII, № 2. – 2003. – С. 41-48.
40. Юргенсон Г.А. Кононов О.В. Шерловая Гора: месторождение самоцветов и редких металлов // *Шерловая Гора. Минералогический Альманах*. – Т. 19. Вып. 2. 2014. – С. 12-93.
41. Юргенсон Г.А., Кононов О.В., Афанасьева А.С., Бразгалов И.А., Кошлякова Н.С., Павловский П.Н. Рассулов В.А., Япаскурт В.А. Скандий Шерловой Горы // *Юбилейный съезд Российского минералогического общества. Материалы конференции*. 2017.Т.1. – С. 356-357.
42. Юргенсон Г.А., Прокофьев В.Ю. Условия роста кристаллов берилла месторождения Шерловая Гора и флюидные включения // *Тезисы докладов XVIII Российского совещания по экспериментальной минералогии*. Иркутск 5 – 10 сентября 2022 г. – С. 109.
43. Юргенсон Г.А., Рихванов Л.П., Борзенко А.А. Особенности состава примесей в кристаллах берилла различной окраски Забайкалья // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. – Т. 332, № 4. – С. 159-172. DOI: 10.18799/24131830/2021/4/3160
44. Юргенсон Г.А., Сергучкая О.С. Сульфаты магния и цинка в продуктах современного минералообразования из временных потоков на техногенном делювии в прибрежной зоне водоёма Шерловогорского карьера // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование. Труды II Всероссийского симпозиума с международным участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и VIII магния, цинка, железа, меди. Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Современное минералообразование» 24– 27 ноября 2008 г., Россия*. – Чита, 2008. – С. 133-138.
45. Юргенсон Г.А., Русаль О.С. Юргенсон Г.А., Русаль О.С. Железистый ганнингит как продукт современного минералообразования в карьере Шерловогорского олово-полиметаллического месторождения (Юго-Восточное Забайкалье) // *Литосфера*. – 2014. – №5. – С. 129-135.
46. Юргенсон Г.А., Смирнова О.К., Филенко Р.А. Современное минералообразование в геотехногенных ландшафтах как индикатор состояния природной среды // *Проблемы геологии, минеральных ресурсов и геоэкологии Западного Забайкалья*. – У.-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. – 2007. – С. 207-212.
47. Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Смирнов А.А. К проблеме биологического поглощения вольфрама, молибдена и мышьяка на примере польни Гмелина // *Вестник Забайкальского центра Российской академии естественных наук*. – 2009. №1. – С. 16-21.
48. Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Гудкова О.В. К основам биогеохимического мониторинга в геотехногенных ландшафтах горнорудных территорий // *Вестник МАНЭБ*. 2006. Т.11, 35. – С.119-123.
49. Юргенсон Г.А., Солодухина М.А., Филенко Р.А. Церий в компонентах ландшафта Шерловогорского горнорудного района (Юго-восточное Забайкалье) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2020. – Т. 331. – № 3. – С. 159-173. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2559.
50. Юргенсон Г.А., Филенко Р.А. Современное минералообразование // *Геосферные исследования*, 2018. № 4. – С. 32-43.
51. Юргенсон Г.А., Шукшин В.В. Новые данные о формах нахождения цинка и кадмия в почвах и технозомах природного и техногенного ландшафта Шерловогорской геохимической аномалии *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: Труды V Всероссийского симпозиума и XII Всероссийских чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана 10–12 декабря 2014 г. Чита, Россия*. Чита: 2014. – С. 64-67.
52. Юргенсон Г.А., Яковлева В.Н. Редкоземельные элементы цериевой подгруппы в глинах и промывных водных растворах продуктивных жил Шерловой Горы // *Вестник ЗабГУ*, 2018.
53. Alena A. Borzenko and Georgiy A. Yurgenson. Scandium, Yttrium and Lantanids in the Beryl of The Sherlovaya Gora Deposit // Springer Nature Switzerland AG 2020 S. Votyakov et al. (eds.), *Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation*, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences pp. 37– 42, https://doi.org/10.1007/978-3-030-49468-1_5
54. Angelina D. Mikheeva, Anatoliy G. Nikolatv, Georgiy A. Yurgenson, and Alena A. Borzenko. The Nature of Beryl Color from The Sherlovaya Gora Deposit // S. Votyakov et al.(eds.), *Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation*, Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer Nature Switzerland AG 2020, pp.141 – 145 https://doi.org/10.1007/978-3-030-49468-1_9
55. Bindheim J. Ueber den sibirischen Aquamarin // *Crell's chemisch Annalen*. – 1790.– N1. – S.1.
56. Pallas P.S. Mineralogischen Neuigkeiten aus Sibirien // *Neue Nord. Beitrag*. – 1793.– Bd. V. – S.275 – 300.
57. Patrin E. Notice mineralogique de la Daourie // *Observations sur la physique*. – 1791. – Vol. XXXVII. – P. 289 – 290.
58. Sage B.G. *Mem. Sc. Paris*. – 1782. – P. 314-315.

59. Yurgenson G.A., Afanasieva A.S., Kononov O.V., Prokofiev V.Yu. Typomorphic peculiarities of noble beryl varieties from Sherlovaya Mountain // *Geology and Resources*. – 2010. – Vol.19. – N1 Aug. – P. 28-30.
60. Yurgenson G., Prokofiev V., Afanasieva A., Kononov O. Fluid inclusion in beryl of Sherlovay Gora deposit (Eastern Transbaikalia, Russian Federation) // *Acta minerologica-petrographica. Abstract series*. 2019. – V. 10. – P. 126.
61. Yurgenson G.A., Gorban D.N. Bismuth in a Congested Cinquefoil (*Potentilla acervata* Sojak) in Natural-Technogenic Landscapes of the Sherlova Gora Mining District // *Geochemistry International*, 2020, vol. 58, No 9, pp.1061-1067 Pleiades Publishing, Ltd., 2020 DOI: 10.1134/S0016702920080108
62. Yurgenson G.A., Solodukhina M.A., Goriachkina A.G. Arsenic in Dry Steppes Landscape Hypergenesis Zone // *Proceedings of the 2nd International Symposium of Geosciences in NE Asia and the 9th China-Korea Joint Symposium of Geology on Crustal Evolution in NE Asia*. July 31- August 4, 2002. Changchun, China. – Pp. 130-131.
63. Yurgenson G. A., Bychkov A. Yu., Kononov O.V. and Popova J. A. REE in wolframites from Sherlova Gora gems mine (Transbaikalia, Russia). (2017) *Goldschmidt Abstracts*, 2017. – P. 4443.

1. Геология, закономерности размещения и процессы образования рудных месторождений

УДК 553.6.041:550.812.1 (571.54/55)

Монголо-Охотская провинция: распространение и закономерности размещения камнесамоцветного сырья

Гадиятов В.Г.

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия, ул. 20 лет Октября, 84.
gadiatovvg@mail.ru

Аннотация. Показано распространение и закономерности размещения месторождений камнесамоцветного сырья в Монголо-Охотской камнесамоцветной провинции. Проведено минерагеническое районирование территории. При этом за основу приняты таксономические единицы разных иерархических уровней. В качестве наиболее крупного подразделения взята провинция. В состав выделенной провинции входят одноимённая Монголо-Охотская и Ханкайско-Буреинская субпровинции, включающие Ингодинскую, Верхне-Ононскую, Шилкинско-Буруканскую, Агинскую, Аргунскую, Тугурскую, Селемджинскую, Мало-Хинганскую минерагенические зоны и Буреинский рудный район. Приведена характеристика рудных районов с известными месторождениями турмалина, берилла, аквамарина, топаза, сердолика, агата, яшма, родонита, имеющими первостепенное значение и составляющими минерально-сырьевую базу цветных камней Российской Федерации.

Ключевые слова: камнесамоцветное сырье, районирование, цветные камни, провинция, месторождение.

Mongolian-Okhotsk province: distribution and placement patterns semi-precious raw materials

Gadiyatov V.G.

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia, st. 20 years of October, 84. gadiatovvg@mail.ru

Abstract. The distribution and regularities of placement of deposits of gemstone raw materials in the Mongolian-Okhotsk gemstone province are shown. Minerogenic zoning of the territory was carried out. At the same time, taxonomic units of different hierarchical levels are taken as a basis. The province is taken as the largest subdivision. The isolated province includes the Mongol-Okhotsk and Khankai-Bureya subprovinces of the same name, including the Ingodinskaya, Upper-Ononskaya, Shilkinsky-Burukanskaya, Aginskaya, Argunskaya, Tugurskaya, Selemdzhinskaya, Lesser Khingan minerogenic zones and the Bureinsky ore district. The characteristics of ore regions with known deposits of tourmaline, beryl, aquamarine, topaz, carnelian, agate, jasper, rhodonite, which are of paramount importance and constituting the mineral resource base of colored stones of the Russian Federation, are given.

Keywords: gemstone raw materials, zoning, colored stones, province, deposit.

Введение. На территории Российской Федерации (РФ) известны многие ювелирные, ювелирно-поделочные и поделочные камни [1], но размещены они крайне неравномерно: ведущее место занимает Урал, Восточная и Южная Сибирь, а также Забайкалье и Дальний Восток [2]. В разные годы проводилась систематизация месторождений, изучались закономерности их размещения, выделялись отдельные камнесамоцветные регионы. За период с 1965 по 2004 год территория бывшего СССР и РФ была подразделена на ряд камнесамоцветных таксонов [3, 4, 5]. В основе схем размещения лежат тектонические, формационные и другие факторы геммологической минерагении [15, 16, 18].

В результате минерагенического районирования РФ нами выделено 9 камнесамоцветных провинций [7, 8]: Восточно-Европейская, Кавказская, Тимано-Уральская, Восточно-Сибирская, Южно-Сибирская, Монголо-Охотская, Дальневосточная, Северо-Восточная, Камчатско-Сахалинская. В их состав входят 23 субпровинции и камнесамоцветные области: Карело-Кольская, Воронежская, Балтийско-Днепровская, Северо-Кавказская, Тиманская, Северо-Уральская, Средне-Уральская, Южно-Уральская, Таймырская, Оленёкско-Анабарская, Средне-Сибирская, Алдано-Становая, Енисейско-Алтайская, Саянская, Байкальская, Монголо-Охотская, Ханкайско-Буреинская, Сихотэ-Алинская, Приморская, Колымо-Индибирская, Верхояно-Адычанская, Корякско-Камчатская, Сахалинская [9].

В минерагеническом отношении территория Забайкалья входит в Монголо-Охотскую камнесамоцветную провинцию. Монголо-Охотской камнесамоцветная провинция занимает

протяжённую территорию от р. Чикой на западе до Охотского моря на востоке. Северная граница провинции проходит вдоль рек Хилок, Шилка, Амур, Уда. Южной границей на значительном расстоянии служит государственная граница Российской Федерации с Китаем, на юго-востоке границей является р. Амур. Административно провинция расположена на территории Забайкальского края и Амурской области, Хабаровского края и Еврейской автономной области.

Основными орографическими единицами являются Борщовочный хребет, южный склон Станового хребта, хребет Джагды и Буреинский хребет. В геолого-структурном отношении провинция расположена в области герцинской складчатости. Границей раздела с Южно-Сибирской и Дальневосточной провинциями служат границы между областями развития байкальской и герцинской складчатости.

В провинции известны турмалин, берилл, аквамарин, топаз, сердолик, агат, яшма, родонит, имеющие первостепенное значение. Значительный вклад в изучение месторождений драгоценных камней и освоение Монголо-Охотской провинции внесли В.А. Беляев, В.И. Беляевский, К.Г. Глебов, С.Д. Дубровин, М.В. Кокунин, В.Е. Кушнарёв, А.В. Татаринов [10, 11], К.Л. Тулубьев, З.И. Удовенко, Г.А. Юргенсон [12-19] и др.

В состав Монголо-Охотской провинции входят одноимённая Монголо-Охотская и Ханкайско-Буреинская субпровинции, включающие Ингодинскую, Верхне-Ононскую, Шилковско-Буруканскую, Агинскую, Аргуньскую, Тугурскую, Селемджинскую, Мало-Хинганскую минерагенические зоны и Буреинский рудный район (таблица 1).

Таблица 1

Минерагеническое районирование Монголо-Охотской провинции

Субпровинция, область	Минерагеническая зона	Рудный район	Основные цветные камни	Месторождения
Монголо-Охотская	Ингодинская	Малханский	Турмалин, берилл, аквамарин, гранат, хризолит, яшма, родонит	Малхан, (турмалин), Жила Моховая, Жила Савватеевская, Гремячинская Копь (турмалин)
	Верхне-Ононская	Н.в.	Берилл, топаз, турмалин, агат, яшма	–
	Шилкинско-Буруканская	Шилкинско-Борщовочной	Берилл, топаз, аквамарин, турмалин, амазонит, офиокальцит, агат	Падь Сухая (турмалин), Шерловогорское (берилла. аметрина), Адун-Челонское (топаз, аквамарин)
	Агинская	Шерловогорско-Буруканской	Берилл, топаз, турмалин, яшма, аметист, агат	
	Аргунская	Н.в.	Агат, халцедон, аметист	–
	Тугурская	Западно-Охотский	Яшма (в т.ч. синия – ирнимит), родонит	Ирнимийское (яшма), Корельское (родонит)
Ханкайско-Буреинская	Селемджинская	Норско-Бурудинский	Сердолик, агат, халцедон	Бурудинское, Норское (сердолик, агат) Деспское (лиственит)
	Мало-Хинганская	Кульдурский	Офикальцит, оникс мраморный	Кульдурское, Согдинское и др. (офикальцит)
	Н.в.	Буреинский	Нефрит, берилл	Кивили (нефрит)

Примечание: Н.в. – минерагеническая зона или рудный район не выделены.

Монголо-Охотская субпровинция

Монголо-Охотская субпровинция протягивается полосой широтного простирания от западного побережья Охотского моря (район Шантарских островов) вдоль южных отрогов Станового хребта почти до южной оконечности Байкала. Административно расположена на территории Читинской и Амурской областей, Хабаровского края и Агинского Бурятского автономного округа.

Забайкалье издавна привлекало к себе внимание отечественных рудознатцев, геологов и естествоиспытателей. В разные годы здесь проводили исследования А.К. Болдырев, А.И. Гинзбург, В.А. Обручев, П.П. Сущинский, М.М. Тетяев, А.Е. Ферсман, В.Г. Хлопин, А.Д. Щеглов и многие другие. Месторождения Забайкалья являлись полигоном по изучению разных аспектов минералообразования, особенностям геологического строения, выяснению условий формирования и локализации грейзенов и пегматитов, изучению драгоценных камней.

В геологическом отношении территория субпровинция приурочена к российскому сектору герцинид Монголо-Охотской складчатой системы Амурской складчатой области. С серией вулканогенно-осадочных формаций пространственно и генетически связаны месторождения и проявления родонита и яшмы, а с рядом магматических формаций - пегматитовые и грейзеновые месторождения и проявления берилла, топаза, турмалина (гранитоидные формации) и агата, халцедона, аметиста, хризолита (вулканиты).

Значимость субпровинции определяется нахождением в ее пределах месторождений и многочисленных проявлений берилла, турмалина, топаза, яшмы и родонита. Проявления агат-халцедонового сырья имеют второстепенное значение.

Проявления группы берилла Забайкалья представлены тремя геолого-промышленными типами: месторождение Адун-Челон – камерные хрусталеносные внутригранитные пегматиты; проявления Агинского района (пегматиты Борщевочного кряжа) – занорышевые редкометальные пегматиты; месторождение Шерлова Гора – апосиликатые грейзены мусковит-топаз-кварцевого состава. Первые два типа, связанные с пегматитами имеют большое значение и как коренные объекты, и как источник россыпей. Проявления топаза Забайкалья пространственно совпадают и сингенетичны с проявлениями берилла и представлены теми же геолого-промышленными типами, но в отличие от берилла в Забайкалье нет месторождений топаза с балансовыми запасами.

В субпровинции выделены Ингодинская, Верхне-Ононская, Шилкинско-Буруканская, Агинская, Аргунская и Тугурская минерагенические зоны.

Ингодинская минерагеническая зона расположена в западной части субпровинции, в отрогах Даурского хребта, в бассейне верхнего течения рек Ингода и Чикой. В административном отношении – на территории Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа. Минерагеническая зона имеет четко выраженную специализацию на турмалин, берилл, аквамарин и топаз. Включает Малханский турмалиноносный район.

В Малханском турмалиноносном районе расположено одноимённое месторождение турмалина – единственное в России месторождение с балансовыми запасами. Месторождение относится к типу редкометальных миароловых полнозональных микроклин-альбитовых гранитных пегматитов, интенсивно замещенных лепидолитом и клевеландитом. Этот тип гранитных пегматитов является главным источником ювелирного турмалина во всем мире. Запасы турмалина по состоянию на начало 2003 г. составляли 5617,10 кг. Прогнозные ресурсы Малханского рудного поля по категории P_2 – 9572 кг.

На площади района размещаются также проявления турмалина Жила Моховая, Савватеевская и Гремячинская Копи, которые представлены такими же зональными миароловыми пегматитами, но слабо замещенными лепидолитом и клевеландитом. Проявления жила Полиминеральная и Падь Сухая представлены неполнозональными пегматитами этой формации. Значение 2-х последних типов невелико.

Верхне-Ононская минерагеническая зона расположена на площади Даурского хребта в бассейне верхнего и среднего течения р. Онон. Специализация зоны – берилл, топаз,

турмалин, агат, халцедон, яшма. С гранитными пегматитами связаны проявления берилла, топаза, турмалина; с андезито-базальтами – проявления агата, которые представлены горизонтами миндалекаменных базальтов и сферолоидными лавами кислого состава.

Шилкинско-Буруканская минерагеническая зона занимает площадь Шилкинского и Борщовочных хребтов на севере, Нерчинского и Урюмканского – на юге. Минерагеническая зона включает Шилкинско-Борщовочный рудный район. Специализирована на берилл, топаз, турмалин, амазонит, генетически связанные с гранитными пегматитами. Кроме того, зона специализирована на офиокальцит. Второстепенное значение имеют агат, халцедон, аметист и яшма. Проявления яшмы локализованы в окремнелых горизонтах эффузивных и пирокластических пород кислого состава. Зона включает Шилкинско-Борщовочный рудный район. В пегматитах Борщовочного хребта сосредоточены многочисленные проявления турмалина, берилла и топаза. Однако большая часть пегматитовых жил отработана. Только на проявлении Падь Сухая содержится ювелирный турмалин.

В *Агинскую минерагеническую зону* входит Шерловогорско-Буруканский рудный район, в котором находится Шерловогорское месторождение берилла и Адун-Челонское месторождение топаза, кроме того, – другие проявления топаза, а также турмалина и амазонита. Шерловогорское месторождение относится к апогранитному кварц-топаз-мусковит-грейзеному типу с топазом и аквамарин. Помимо берилла содержит его разновидности: аквамарин, гелиодор, ростерит, зелёный и золотой берилл. А также аметрин [16]. Запасы берилла по состоянию на 1.01.2003 составляют 282,6 кг. Прогнозные ресурсы Шерловогорского рудного поля по категории P_2 (кварц-топаз-мусковитовые грейзены с топазом и аквамарин, делювиальные и техногенные россыпь с бериллом) – 8870 кг.

Берилл содержится также в Адун-Челонском месторождении микроклиновых берилл-топаз-морионовых гранитных пегматитов, на котором подсчитаны прогнозные ресурсы берилла по P_2 (23,6 кг), и сконцентрированы значительные ресурсы (150 кг) топаза. Кроме топаза в минерализованных полостях Адун-Челонского месторождения содержатся аквамарин и гелиодор, горный хрусталь, редко – цитрин и аметист. На Кур-Куринском потенциальном рудном поле ресурсы топаза составляют 350 кг.

Аргунская минерагеническая зона расположена на Нерчинском и Урюмканском хребтах, простираясь на юге – вдоль государственной границы Российской Федерации. Основная специализация зоны – агат, халцедон и аметист. Второстепенное значение принадлежит офиокальциту и яшме. Проявления агат-халцедонового сырья локализованы в породах андезито-базальтовой и дацит-липаритовой формаций мезозойского возраста [12-13]. Она входит в состав Приаргунской зоны Забайкальско-Монгольской агатоносной провинции по [13].

Тугурская минерагеническая зона, пространственно совпадающая с Удско-Шанторской структурно-формационной зоной, расположена в Хабаровском крае на западном побережье Охотского моря. Зона имеет четко выраженную специализацию на родонит и яшму. В её состав входит Западно-Охотский рудный район, включающий Ирнимийское месторождение яшм, Корельское месторождение и Шантарское проявление родонита. Западно-Охотский рудный район расположен на побережье Охотского моря.

Яшмы содержатся в серии линзовидных тел, залегающих в кремнистых вулканогенно-осадочных и осадочных породах нижнего палеозоя. Основное значение принадлежит пестроцветным и сургучным яшмам. На месторождении содержится также уникальная синяя яшма – ирнимит, не имеющая аналогов в России. Благодаря редкости синие яшмы получили широкую известность и за пределами страны.

В 1979-86 гг. были проведены поиски яшм и родонита в пределах Ирнимийского рудного поля. В 1982-86 гг. в результате поисково-оценочных работ, проведенных на Ирнимийском месторождении, запасы синих яшм по кат. C_2 составили – 1651,2 т, полосчатых яшм – 9787 т, родонита – 74,1 т (все сортовое сырьё). Из уникальных синих яшм были изготовлены высокохудожественные изделия, но из-за труднодоступности месторождение не

разрабатывается и числится в госрезерве. Синие яшмы известны также на проявлении Бом, где, кроме яшм, известен родонит.

Родонит Ирнимийского месторождения содержится в марганцево-силикатных залежах в кварцито- и яшмово-зеленосланцевых толщах. Запасы сырья составляют 51,9 т, прогнозные ресурсы – 44 т.

Таким образом, промышленная значимость Монголо-Охотской субпровинции определяется наличием в ее пределах месторождений и многочисленных проявлений многих цветных камней, среди которых первостепенное значение имеют турмалин, берилл, аквамарин, топаз, агат, яшма (особенно синия – ирнимит), родонит.

Ханкайско-Буреинская субпровинция

Ханкайско-Буреинская субпровинция расположена в восточной части рассматриваемой Монголо-Охотская провинции. Административно – на территории Хабаровского края, Амурской области и Еврейской автономной области.

В геологическом отношении субпровинция приурочена к Ханкайскому и Буреинскому массивам, входящим в состав Амурской складчатой области.

В Ханкайско-Буреинской субпровинции основное значение принадлежит сердолику, агату, нефриту, бериллу, офиокальциту, мраморному ониксу. Второстепенное – имеют корунд, амазонит, иризирующий анортозит, амазонит, родонит, яшма. Корунд, лиственит и нефрит приурочены к геологическим формациям фундамента массивов; сердолик, агат, халцедон, берилл, турмалин, офиокальцит и мраморный оникс – к постороженным вулканитам, интрузиям кислого состава и осадочным образованиям эпиплатформенного типа.

Проявления благородного корунда Ханкайско-Буреинской провинции генетически связаны с мрамор-сланцево-гнейсовой формацией раннего протерозоя. Относятся к геолого-промышленному типу магнезиальных эндоскарнов в кальцитовых и доломито-кальцитовых мраморах. Кроме того, имеется несколько проявлений корунда в слюдястых плагиоклазитах (плюмазитах), приуроченных к мрамор-офиокальцитовой формации протерозоя. Значение субпровинции определяется нахождением в ее пределах крупнейшего в России Бурундинского месторождения сердолика и достаточно широкого развития формаций, перспективных на эти самоцветы, в разрезе Ханкайского срединного массива.

В субпровинции выделены Селемджинская и Мало-Хинганская минерагенические зоны, а также Буреинский рудный район.

Селемджинская агатоносная минерагеническая зона занимает площадь Амурско-Зейской равнины на севере и отроги Буреинского хребта – на юго-западе. Зона включает Норско-Бурундинский рудный район, специализированный на агат, халцедон и лиственит.

Агат-халцедоновая минерализация Норско-Бурундинского района генетически связана с андезитовой формацией раннего мела (Талданская свита). Проявления агата и халцедона приурочены к зонам дробления в лавах преимущественно среднего состава и к горизонтам миндалекаменных лав основного состава. Главные промышленные месторождения этой минерагенической зоны – Бурундинское и Норское представлены аллювиальными россыпями сердолика, находящимися в долинах рек Бурунда и Нора. Перспективны также проявления халцедона в элювиальных и делювиальных россыпях. Примерами этого геолого-промышленного типа являются проявления Амака и участок Финальный Бурундинского месторождения. Ядринское и Радденское проявления агата локализованы в дацито-липаритовой формации мелового возраста, представлены горизонтами сферолоидных лав кислого состава.

Кроме сердолика и халцедона в Селемджинской зоне находится Депское месторождение лиственита. Оно представлено штокообразным телом, локализованным в зоне серпентинизации Усть-Депского массива габбро-гипербазитовой формации раннего палеозоя, относится к типу эндогенных гидротермально-метасоматических месторождений.

Мало-Хинганская минерагеническая зона расположена на юго-западе Буреинского хребта. Зона специализирована на офиокальцит и мраморный оникс, второстепенными являются родонит, яшма, агат, корунд, берилл. В состав зоны входит Кульдурский офиокальцитовый рудный район с одноименным месторождением. Кульдурское (Курортное) месторождение

офикальцитов находится в районе г. Кульдур. Представлено типом магнезиальных скарнов, приуроченных к зонам метасоматической проработки протерозойских доломитов и магнезитов на контакте с палеозойскими гранитоидами. Кроме Кульдурского месторождения в рудном районе находятся Согдинское, Медвежье и Средне-Биджанское проявления офикальцита.

Другие проявления благородного корунда также относятся к типу магнезиальных скарнов. Кроме то, здесь известны корунды, связанные со слюдистыми плагиоклазитами. Они приурочены к мраморам и офикальцитам протерозоя.

Буреинский рудный район расположен на северо-западе Буреинского хребта, в верховье р. Бурей. Основная специализация – нефрит и берилл, возрастное значение принадлежит амазониту и иризирующему анортозиту. Проявления берилла Буреинского района содержатся в редкометальных микроклиновых берилл-мусковитовых (бесплодных) пегматитах позднемелового возраста. В бассейне р. Кивили локализована аллювиальная россыпь зеленого нефрита, связанная с коренными проявлениями нефрита апогаббрового типа в амфиболитах протерозойского возраста.

Таким образом, промышленная ценность Ханкайско-Буреинской камнесамоцветной субпровинции определяется нахождением в ее пределах Норского и Бурундинского месторождений сердолика и агата (причем, последнее по запасам является крупнейшим месторождением сердолика в России), Деспского – лиственита и Кульдурского – офикальцита.

Библиографический список

1. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. – М.: Земля. Ассоциация ЭКОСТ, 2000. – 580 с.
2. Коваленко И.В., Костелова Т.Г. Анализ минерально-сырьевой базы камнесамоцветного сырья России и пути ее развития // Отечественная геология. – 2006. № 4. – С. 47-51.
3. Самсонов Я.П., Туринге А.П. Самоцветы СССР. – М.: Недра, 1984. – 335 с.
4. Атабаев К.К. Геологическое изучение и оценка минеральных ресурсов территории Российской Федерации и её континентального шельфа. – М: ФГУП «Центрквадрат», 2003.
5. Коваленко И.В., Костелова Т.Г., Шуляева Л.Н. и др. Сводная ресурсная карта цветных камней России // Разведка и охрана недр. – 2004. - № 1. – С. 2-6.
6. Гадиятов В.Г. Камнесамоцветные формации северо-востока Азии. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2005. – 272 с.
7. Гадиятов В.Г. Минерагеническое районирование территории Российской Федерации на цветные камни // Новые идеи в науках о Земле: докл. 11-й междунар. конференции. – М., 2013. – Т. 1. – С. 234-235.
8. Гадиятов В.Г. Пространственное размещение месторождений цветных камней на территории Российской Федерации // Геммология: материалы VI научной конференции. – Томск, 2013. – С. 28-36.
9. Гадиятов В.Г. Минерагения и прогнозирование месторождений цветных и декоративно-облицовочных камней: учебное пособие / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж: изд-во ВГТУ, 2018. – 130 с.
10. Татаринцов А.В. Камнесамоцветные минеральные формации Сибири // Геология и геофизика. – 1992. №.11. – С. 116-125.
11. Татаринцов А.В. Геологические предпосылки прогнозирования месторождений цветных камней в дунит-гарцбургитовой формации // Разведка и охрана недр. – 2002. № 10. – С. 8-11.
12. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300 – летию основания Приказа рудокопных дел / Г.А. Юргенсон, В.С. Четкин, В.М. Асосков и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 574 с.
13. Юргенсон Г.А. Ювелирные и поделочные камни Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 2001. – 390 с.
14. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудные формации. – Новосибирск: Наука, 2003. – 368 с.
15. Юргенсон Г.А. К обоснованию геммологической минерагении // Вест. Заб.ГУ. – 2011. № 3. – С. 125-131.
16. Юргенсон Г.А. Ювелирные камни Забайкалья. Ч.1. Промышленные месторождения пегматитов и грейзенов. – Чита: Изд-во ЗабГУ, 2016. – 198 с.
17. Юргенсон Г.А. Ювелирные камни Забайкалья. Ч.2. Перспективные проявления. – Чита: Изд-во ЗабГУ, 2017. – 152 с.
18. Yurgenson G.A. Gemological Minerageny // Priceedings for the 5th International Symposium in Geological and Mineragnetic correlathion in the Contiguous regions of China, Russia and Mongolia (Chahgchun, China.Oct. 8-10, 2003). Changchun: International Centre for Geoscientific research and Education in Northeast Asia: Jilin University, 2003. – P. 22-25.
19. Georgiy A. Yurgenson, Oleg V. Kononov. Sherlova Gora: a deposit for Gemstones and Rare Metals // Famous Mineral Localites of Russia: Sherlova Gora // Mineralogical Almanac V. 19 issue 2, Ltd. Lakewood, CO80227, USA, 2014. – Pp. 3-93.

Орогенные месторождения золота: геодинамика и минералогенез

Горячев Н.А.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН Магадан,
Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН Иркутск, Россия, goryachev@neisri.ru

Аннотация. Рассмотрены геодинамические обстановки формирования орогенных месторождений золота и их влияние на минералого-геохимические характеристики руд и их металлогенические ассоциации.

Ключевые слова: Орогенные месторождения золота. Геодинамические обстановки и металлогенические ассоциации.

Orogenic gold deposits: geodynamics and mineralogy

Goryachev N.A.

North-Eastern Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N.A. Shilo FEB RAS Magadan,
A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS Irkutsk, Russia, goryachev@neisri.ru

Abstract. Geodynamic conditions of the formation of orogenic gold deposits and their influence on the mineralogical and geochemical characteristics of ores and their metallogenic associations are considered.

Keywords: Orogenic gold deposits. Geodynamic settings and metallogenic associations

В конце 90-х годов в геологическом сообществе изучающем рудные месторождения появился новый объект – орогенные месторождения золота (Groves et al., 1998; Goldfarb et al., 2001 и пр.), который уверенно завоевал «западный» рудно-геологический мир, поскольку включил в себя большинство месторождений золота. Согласно современных взглядов все золоторудные месторождения следует разделять на (1) орогенные, (2) связанные с интрузивами, (3) эпитермальные, (4) IOCG -золотые железоокисно-медные, (5) золото-колчеданные, (6) золотоносные медно-порфиновые. В среде российских геологов орогенный тип находит неоднозначное понимание, и, зачастую, не используется.

Что есть орогенное золотое оруденение? Согласно основателям, орогенные месторождения формируются вдоль конвергентных окраин в течение аккреции террейнов, их перемещения и коллизии, которая связана с субдукцией плит и/или литосферным расслоением. Они формируются обычно в позднюю стадию деформационно-метаморфически-магматической истории формирующегося орогена. Руды имеют четкий структурный контроль разломами или зонами смятия, складками и/или зонами контраста компетентных пород (Groves et al., 2003). С другой стороны, опираясь на данное определение, орогенные месторождения золота можно рассматривать как месторождения золота, которые возникли в результате орогенных событий, во время формирования складчатых поясов, в тесной связи с процессами зонального метаморфизма и орогенного гранитоидного магматизма из региональных флюидных потоков, структурированных зонами региональных разломов, либо орогенными интрузивами (Горячев, 2006).

Предлагаемое сообщение представляет собой попытку рассмотреть на примерах крупных поясов фанерозоя (Лакланский (Восточной Австралии), Северо-Востока Азии и Монголо-Охотский, Северо-Американо-Кордильерский, с привлечением материалов по другим структурам) позицию орогенных месторождений в эволюции орогенного пояса и их металлогенические ассоциации. Помимо геодинамических обстановок формирования орогенных месторождений (коллизионная, активных континентальных окраин и островных дуг, задуговая или тловодужная и трансформно-сдвиговая), в основу анализа положены следующие категории: (1) место рассматриваемых месторождений в хронологии орогенеза поясов; (2) ассоциации золоторудных месторождений и (3) их металлогенические ассоциации с другими типами оруденения.

По месту в хронологии орогенеза выделяются следующие последовательности: (1) осадконакопление – складчатость – метаморфизм – оруденение – граниты (Вост.Австралия, Калифорния, Чукотка, Клондайк, Карибу, Аляска-Джуно) аккреционный аккреционный

геодинамический тип; (2) осадконакопление – (метаморфизм) – складчатость – плутонометаморфизм – оруденение (Яно-Колыма, Байкало-Патом) коллизионный; (3) осадконакопление – метаморфизм – плутонический магматизм – сдвиги – плутонический магматизм – оруденение (Монголо-Охотия, Сихотэ-Алинь, Саяны?) трансформно-сдвиговый; (4) осадконакопление – складчатость+метаморфизм – сдвиги – метаморфизм – дайки-малые плутоны – оруденение (Китай, Аллах-Юнь, Приохотье) аккреционно-тыловодужный.

Ассоциации золоторудных месторождений в указанных последовательностях: (1) орогенное – золото-висмутовое, связанное с гранитами; (2) золото-висмутовое, связанное с гранитами – орогенное; (3) комплексное (орогенное=золото-висмутовое, связанное с гранитами); (4) (золото-висмутовое, связанное с гранитами) – орогенное=золото-сурьмяное. Каждый тип со своей ассоциацией золотых объектов.

Металлогенические ассоциации золота: (1) полиметаллы+медь; (2) олово+вольфрам+редкие металлы; (3) медно-молибден-порфиновые – олово+редкие металлы; (4) редкие металлы – серебро-полиметаллы. Выраженность прочих в каждом типе не так явная.

Примером орогенных поясов коллизионной обстановки является Яно-Колымский пояс Северо-Востока Азии. Место орогенных месторождений в эволюции пояса: осадконакопление – плутонометаморфизм (160-140 млн лет) – золотое оруденение (орогенное – 145-135 и золото-висмутовое – 149-140). Ассоциации золотых месторождений: орогенные и связанные с гранитоидными интрузивами. Орогенная металлогеническая ассоциация (вольфрам, олово, молибден и реже полиметаллы).

Примеры активных континентальных окраин и островных дуг это Кордильерская Северо-Американская окраина (Аляска-Джуно, Британская Колумбия, Калифорния) и Восточная Австралия. Место орогенных месторождений в эволюции пояса: осадконакопление – метаморфизм– золотое оруденение (орогенное) – гранитоидный магматизм. Ассоциации золотых месторождений: только орогенные (в Австралии проявлено более позднее золото-сурьмяное). Орогенная металлогеническая ассоциация (колчеданные руды и полиметаллы).

Примеры аккреционной задуговой или тыловодужной обстановки в Охотско-Корякском орогенном поясе (Верхоянье и в пределах Яно-Колымского пояса). Место орогенных месторождений в эволюции пояса: осадконакопление – метаморфизм (160-140 млн лет) – золотое оруденение (орогенное – древнее 150), главный орогенный плутонизм (125) и золото-висмутовое – 124-117 и золото-сурьмяное – 127-124), орогенное золотое (126-124 и 120-119), поздний магматизм гранитоидный (105-95) и одновозрастное золото-висмутовое. Ассоциации золотых месторождений: орогенные и связанные с гранитоидными интрузивами. Орогенная металлогеническая ассоциация (вольфрам и полиметаллы).

Трансформно-сдвиговая обстановка представлена примером – Монголо-Охотским поясом. Место орогенных месторождений в эволюции пояса: осадконакопление – метаморфизм– коллизионный магматизм (190-220 млн лет) – трансформно-сдвиговые движения – латитовый магматизм (160) – золотое оруденение (орогенное и золото-висмутовое, зачастую неразделимые (159-150 млн лет), позднее рифтогенное эпитеpmальное (150-142 млн лет). Ассоциации золотых месторождений: орогенные и связанные с гранитоидными интрузивами зачастую неразделимые, ибо минеральный состав одинаков, а также поздние эпитеpmальные и сурьмяные. Орогенная металлогеническая ассоциация (медь, молибден и полиметаллы, сурьма).

И особо следует рассмотреть плюмовые обстановки, примерами которых являются Бушвельдский раннепротерозойский и Гаулерский среднепротерозойский внутрикратонные плюмовые ареалы. Бушвельд Ni-Cu-PGE – 2060-2055 млн лет, Хаутенбек Mo-TR – 2059-2046, Заайплаат Sn – 2055-2040, Вергеноег IOCG – 2040, Перинг Pb-Zn – 2057-2039, Пилгрим-Рест орогенное Au – 2024 с геохимической ассоциацией в рудах Au-Pb-Sb-Bi-Cu. Гаулер кратон: Олимпик Дам IOCG – 1600-1575 млн лет, Таркула орогенное Au – 1580 с Au-Cu-Pb-Bi-Co геохимической ассоциацией.

Для плюмовой обстановки наблюдается очень сложная металлогеническая близкоодновременная ассоциация медно-никелевых руд с полиметаллическими, оловянными, редкоземельными и орогенными золотыми, но с преобладающей все же для обоих случаев медно-золото-висмутовой специализацией орогенных руд золота, сближающей их с орогенными золоторудными месторождениями трансформно-сдвиговых обстановок.

Таким образом, орогенные месторождения золота объединяют в своем содержании пять геодинамических типов с различной минералого-геохимической и металлогенической нагрузкой, обусловленной разнообразием геодинамических обстановок формирования руд данного типа.

Доклад подготовлен в рамках госзаданий СВКНИИ ДВО РАН и ИГХ СО РАН, при частичной поддержке грантом РФФ 23-47-00069 (материалы по задуговому и трансформно-сдвиговому типам).

Экспериментальные исследования метаморфизма сульфидных руд в присутствии флюидной фазы

Дамдинов Б.Б.¹, Котельников А.Р.², Сук Н.И.², Дамдинова Л.Б.¹, Ахмеджанова Г.М.²

¹Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, Улан-Удэ, Россия, damdinov@mail.ru

²Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка, Россия

Аннотация. В связи с проблемой возможности ремобилизации рудного вещества в эндогенных условиях, выполнены модельные эксперименты по исследованию переноса рудообразующих компонентов при повышенных РТ параметрах: Т=500-680°C и давлении 4-5 кбар, в присутствии концентрированных водно-солевых растворов в термостатических и термоградиентных условиях. Показано, что в этих условиях происходит интенсивная перекристаллизация и осаждение сульфидных минералов (сфалерита, галенита, халькопирита, пирита и др.) совместно с силикатными минералами (полевыми шпатами, слюдами и кварцем). На примере исследования природных объектов показано, что моделируемые процессы имеют место в эволюции рудообразующих систем полиметаллических и золото-сульфидно-кварцевых месторождений.

Ключевые слова: сульфидные руды, экспериментальное моделирование, водно-солевые флюиды, перенос вещества.

Experimental studies of the metamorphism of sulfide ores in the presence of a fluid phase

Damdinov B.B.¹, Kotelnikov A.R.², Suk N.I.², Damdinova L.B.¹, Akhmedzhanova G.M.²

¹Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, damdinov@mail.ru

²Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka, Russia

Abstract. Due to the problem of the possibility of remobilization of the ore substance under endogenous conditions, model experiments were carried out to study the transfer of ore-forming components at elevated PT parameters: T = 500-680°C and a pressure of 4-5 kbar, in the presence of concentrated water-salt solutions in thermostatic and thermogradient conditions. It is shown that under these conditions intensive recrystallization and precipitation of sulfide minerals (sphalerite, galena, chalcopyrite, pyrite, etc.) occur together with silicate minerals (feldspars, pyroxenes, amphiboles and quartz). On the example of the study of natural objects, it is shown that the simulated processes take place in the evolution of ore-forming systems of base metal and gold-sulfide-quartz deposits.

Keywords: sulfide ores, experimental modeling, water-salt fluids, matter transport.

Механизмы формирования золото-сульфидно-кварцевых и эпигенетических полиметаллических месторождений до сих пор остаются предметом дискуссий. Это обусловлено тем, что зачастую такие месторождения не имеют видимой связи с магматизмом, что не позволяет однозначно идентифицировать происхождение рудообразующих гидротермальных растворов. При этом конкретные условия и механизмы переноса и переотложения рудного вещества к настоящему времени дискуссионны и экспериментально не обоснованы, что послужило основанием для постановки экспериментальных исследований транспорта компонентов сульфидных руд при повышенных Р-Т параметрах, в присутствии флюидной фазы. Считается, что большую роль в формировании рудных месторождений играют метаморфогенные флюиды, происхождение которых обусловлено дегидратацией и дегазацией (деволатилизацией) горных пород при метаморфизме [3]. При этом в ряде случаев (плутоногенно-гидротермальные месторождения золота, полиметаллические месторождения типа долины Миссиссипи и др.) установлено, что рудообразующие флюиды имеют высокую концентрацию солевых компонентов. Движущей силой процессов транспорта вещества в условиях земной коры являются градиенты температуры и давления, при этом рудные компоненты транспортируются щелочной фазой флюида [2]. Целью экспериментов явилось моделирование процессов преобразования сульфидных руд, а также выявление условий и механизмов мобилизации, переноса и переотложения рудообразующих компонентов в условиях повышенных температур и давлений, то есть в глубинных условиях, соответствующих областям мобилизации рудообразующих компонентов.

В качестве исходных материалов использовали базальты из Восточно-Тихоокеанского поднятия (далее – ВТП), сульфидный материал черных курильщиков (образцы любезно

предоставлены проф. И.В. Викентьевым, ИГЕМ РАН). Вещество черных курильщиков (обр. 3894, ТМ1) представлено в основном сфалеритом с примесью халькопирита и отдельными включениями галенита и пирротина. Для опытов по изучению переноса вещества применяли также чистые халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит, минералы из медно-никелевых руд Талнахского месторождения – пентландит и пирротин. Кроме того, использовали реактивы ZnS, FeS, PbS, CdS, HgS, Bi₂O₃. Состав растворов задавался различными солями: NaCl, KCl, NH₄Cl, FeCl₂, Na₂S, NaCNS, Na₂CO₃, K₂CO₃; также добавляли гидроксиды натрия и калия. Для создания восстановительных условий, в навеску добавляли небольшое количество графитового порошка (10-40 мг). В ряде опытов использовали буферную смесь (Fe-FeO-FeS-FeS₂). Опыты проводили на установках высокого газового давления с внутренним нагревом конструкции ИЭМ РАН. Продолжительность опытов составляла 12-14 суток. Время закалки ампул до комнатной температуры не превышало 3 минут.

Опыты проводили в два этапа. На первом была проверена возможность рекристаллизации вещества сульфидных руд из отложений черных курильщиков в присутствии базальта при 500°C при давлении 5 кбар и водно-солевых флюидов концентрации до 5 мас%. На втором этапе исследовали сам процесс переноса рудных элементов (450-650°C, давлении до 5 кбар) в условиях температурного градиента. При этом применяли сложный флюид состава H₂O + CO₂ + (Na,KCl) + (Na,K)₂CO₃ + NH₄Cl, подщелоченный добавками гидроксида натрия (калия). Концентрация солей в условиях опытов достигала 40 мас. %. Были проведены опыты по рекристаллизации и переносу силикатного и сульфидного вещества черных курильщиков, то есть таких сульфидных минералов как сфалерит, пирит, халькопирит, галенит. Кроме того, проведены отдельные опыты по моделированию транспорта других рудных элементов, таких как Ni, As, Cd, Pt, Au, Hg, Bi.

Анализ результатов опытов первого этапа показал, что многие новообразованные минералы содержат Cl в своем составе. В продуктах экспериментов отсутствуют минералы Cu, присутствующие в исходном сульфидном образце, что, по-видимому, связано с растворением Cu в золоте ампулы. Было также установлено, что минеральный состав продуктов метаморфизма основных пород и сульфидных руд зависит от солевого состава флюидной фазы. Так, в препарате с добавлением водного раствора KCl появляется ассоциация амфибол – биотит – клинопироксен – калиевый полевой шпат; в присутствии раствора H₂O – NaCl формируется ассоциация клинопироксен – амфибол – альбит; в системе H₂O – FeCl₂ амфибол – хлорит – эпидот – плагиоклаз (андезин-лабрадор). В опыте с раствором H₂O – NaCNS – NaCl формируется агрегат клинопироксен – плагиоклаз (альбит), с относительно большим распространением рудных минералов, причем сульфиды железа представлены исключительно пирротинном, тогда как в других случаях в продуктах экспериментов образуются и пирит, и пирротин. То есть, наличие в опытах азотсодержащих соединений (NaCNS) способствовало более интенсивному переносу и переотложению рудных минералов в силикатной матрице, а присутствие углерода обусловило переход пирита в пирротин. В опытах с добавлением флюида состава H₂O – Na₂S – NaCl формировался агрегат амфибол – пироксен – эпидот – плагиоклаз (андезин-лабрадор), а в присутствии раствора H₂O – FeCl₂ – NaCl агрегат представлял собой смесь клинопироксена и плагиоклазов (альбит, олигоклаз, андезин) с небольшим количеством амфибола. Таким образом, в результате экспериментов первого этапа была показана принципиальная возможность переноса и переотложения рудообразующих компонентов (Pb, Zn, Cu, Au) водно-солевыми флюидами сравнительно невысокой концентрации в эндогенных условиях, а также выявлена зависимость состава минеральных ассоциаций от состава водно-солевых систем, участвующих в процессах минералогенеза.

Термоградиентные опыты по переносу сульфидного материала в присутствии базальта проводили при температурах от 620 до 680°C при градиенте 30-40°C и давлении от 4 до 5 кбар.

Первые опыты проводили во флюиде, состоящем из хлоридов натрия, калия и аммония, подщелоченным добавлением гидроксидов натрия и калия (оп.7336 и 7337). Общая

соленость растворов составляла около 30 мас.%. Опыты показали активный перенос вещества в верхнюю часть ампулы. Интересным фактом является образование в верхней части ампул сростков сульфидных и силикатных минералов, что свидетельствует об их совместном транспорте солевым флюидом. За 14 суток при указанных выше параметрах в опытах с К-спецификой образуются кварц, клинопироксены с содержанием до 14 мол. % эгирина, что свидетельствует о повышении активности щелочных компонентов, также присутствуют амфибол (актинолит-паргасит-эденит), полевые шпаты (ортоклаз, альбит). Сульфидная фаза представлена сфалеритом, редко галенитом. Помимо силикатных и сульфидных фаз встречены отдельные зерна хлорапатита и карбонаты типа Mg- и Mn-содержащего анкерита.

Опыты 7368 и 7369 проводили при таких же термических параметрах, как и предыдущие, но при давлении 4 кбар. Состав раствора был изменен: вместо гидроксидов натрия и калия в опыты добавляли карбонаты: Na_2CO_3 и K_2CO_3 . Транспорт вещества проходил достаточно интенсивно. В продуктах опыта присутствовали следующие силикатные фазы: кварц, полевые шпаты и клинопироксен. Сульфидные минералы представлены сфалеритом и куперитом (PtS с примесями Fe и Zn), встречаются редкие кристаллы галенита, обнаружены также частицы халькопирита (кубанита) на поверхности сфалерита. Силикатные и сульфидные минералы слагают совместные агрегаты, сложенные идиоморфными кристаллами (рисунок 1).

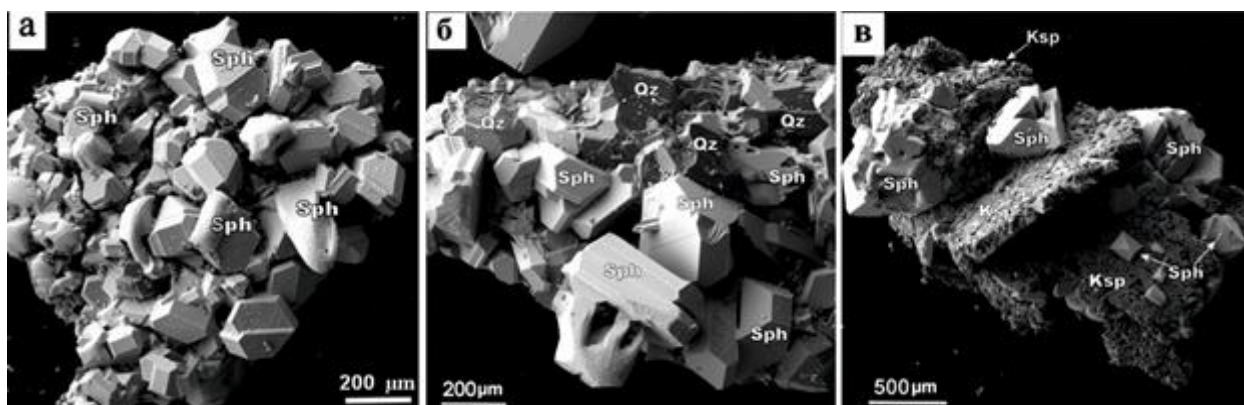


Рисунок 1. Новообразованные минеральные агрегаты: а – опыт 7369, сросток кристаллов сфалерита; б – опыт 7369, кристаллический агрегат кварца и сфалерита; в – опыт 7369, сросток кристаллов калиевого полевого шпата и сфалерита. Qz – кварц, Sph – сфалерит, Ksp – калиевый полевой шпат.

Следующая серия опытов (7378 и 7379) была направлена на изучения переноса пирита и халькопирита. Опыты проводили при температуре $620 \rightarrow 580^\circ\text{C}$ и давлении 4.5 кбар. Использовали растворы хлоридов натрия, калия и аммония, карбонатов натрия и калия, с добавками растворов NaOH (KOH). Поскольку исходными материалами были сульфиды, содержащие много железа (пирит и халькопирит), опыты проводили в золотых ампулах – во избежание растворения двухвалентного железа в платиновой ампуле. Перенос вещества был менее интенсивный, чем в предыдущих термоградиентных опытах. Возможно, это связано с меньшей температурой и более низкой растворимостью пирита и халькопирита по сравнению со сфалеритом и галенитом. В продуктах встречены следующие силикатные минералы: кварц, амфибол, альбит, клинопироксен. Сульфидные фазы представлены в верхней части ампулы – пиритом, в средней части ампулы (в контейнере со смесью кварца и альбита) – пиритом, халькопиритом и галенитом. В нижней части ампулы также присутствуют пирит и халькопирит. Также встречаются отдельные частицы золота с примесями железа, меди и ртути.

Следующие две серии опытов: 7385 и 7386, а также 7387 и 7388 были проведены с целью изучения транспорта не только материала черных курильщиков, но и других рудных минералов, содержащих такие элементы как Ni, As, Cd, Hg, Bi. В опытах 7385, 7386 (соответственно, с Na- и K- спецификой) в исходную навеску добавляли порошок никеля, а

также реактивы CdS и HgS. Опыты проводили в платиновых ампулах. Конечными продуктами опытов были: силикатные фазы (кварц, калиевый полевой шпат и клинопироксен), сульфиды и карбонаты.

Опыты 7387 (Na- специфика) и 7388 (K-специфика) проводили при температуре 680→650°C и давлении 5 кбар. Продолжительность опытов составляла 14 суток. Из-за большого количества Fe-, Ni-содержащих минералов в стартовой смеси (халькопирит, арсенопирит, пентландит) опыты проводили в золотых ампулах. Во всех опытах данной серии происходил интенсивный перенос вещества в верхнюю, более холодную зону ампулы. При этом отмечена более высокая способность к переносу пирита по сравнению с халькопиритом, кроме того, в опытах с калиевой спецификой перенос вещества более интенсивный. В продуктах обоих опытов силикатное вещество представлено кварцем, плагиоклазом, ортоклазом и клинопироксеном. Сульфидные минералы (пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит и галенит) образованы хорошо выраженными кристаллами, часто в сростках с силикатами. В верхней части ампулы, на золотой арматуре обнаружены наросты различных минеральных видов: As₂S₃(аурипигмент); As₄S₄(реальгар?)+PbS(галенит); Au с примесью As, Hg. Следует отметить, что в продуктах опытов не обнаружены самостоятельные минералы кадмия, ртути и висмута. Все эти элементы входят в минеральные фазы в виде твердых растворов.

В целом можно отметить, что синтезированные в ходе экспериментов минеральные фазы подразделяются на силикатные и сульфидные. Силикатные – это амфиболы, клинопироксены, полевые шпаты и кварц. Новообразованные сульфидные минералы (пирит, пирротин, сфалерит, халькопирит, галенит) содержат значительные концентрации элементов-примесей – Ni, Cu, Fe, Cd, As, Au, Bi и др. При этом установлено, что указанные минералы образуют единые парагенезисы, что свидетельствует о совместной миграции силикатного и сульфидного вещества в составе водно-солевых флюидов. Флюиды в целом соответствуют системе H₂O + NaCl + KCl + NH₄Cl ± Na₂CO₃ ± K₂CO₃ ± NaOH ± KOH. Такие водно-солевые системы при высоких параметрах (T > 400°C и P > 3 кбар) растворяют достаточно большое количество силикатного материала (до 1-3 мас.% SiO₂). В присутствии карбонатов щелочных металлов растворимость кремнезема еще более увеличивается. Такие хлоридно-карбонатно-силикатные флюиды по своим свойствам являются растворами II-го или P-Q типа, характеризующимися наличием жидкостной несмесимости в надкритической области и аномальной растворимостью солевых компонентов в надкритической области [1].

В результате проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о возможности совместного переноса силикатного и сульфидного вещества в составе водно-солевых флюидов при повышенных P-T параметрах. Также выявлена зависимость состава новообразованных минеральных парагенезисов от солевого состава флюидной фазы, участвующей в миграции рудообразующих компонентов. Главными факторами, влияющими на миграцию рудных элементов в эндогенных флюидах при повышенных P-T параметрах являются: кислотность-щелочность растворов, наличие или отсутствие ряда компонентов – азотистых, мышьяковистых и др. соединений, P-T параметры среды. Моделируемые параметры в природных условиях могут возникать в зонах дислокационного метаморфизма (сдвиги, надвиги и др.), имеющих достаточно широкое распространение в складчатых поясах. Это объясняет сингенетичность рудных и силикатных минералов на полиметаллических и золото-сульфидно-кварцевых месторождениях. Продукты совместной миграции силикатного и рудного вещества наблюдаются в рудах Зун-Холбинского золото-сульфидно-кварцевого и Озерного полиметаллического месторождений в Саяно-Байкальской складчатой области.

Экспериментальные исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект ГИН СО РАН №АААА-А21-121011390003-9 и ИЭМ РАН FMUF-2022-0003 рег.№1021051201959-6-1.5.6;1.5.4;1.5.2); электронно-микроскопические, термобарогеохимические исследования и интерпретация результатов выполнены при поддержке РФФ, грант № 22-17-00106.

Библиографический список

1. Валяшко В.М. Фазовые равновесия и свойства гидротермальных систем. – М., Наука, 1990. – 270 с.
2. Коржинский Д. С. Теория метасоматической зональности. – М.: Наука, 1982. – 103 с.
3. Phillips G.N., Powell R. Formation of gold deposits – a metamorphic devolatilization model // Journal of Metamorphic Geology. 2010. – V. 28. – P. 689-718.

Условия формирования перекристаллизованных руд Озерного полиметаллического месторождения (Западное Забайкалье, Россия)

Дамдинова Л.Б.¹, Дамдинов Б.Б.¹, Викентьев И.В.^{1,2}, Реутский В.Н.³

¹Геологический институт им. Н. Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, ludamdinova@mail.ru

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

³Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

Аннотация. Озерное свинцово-цинковое месторождение – крупнейшее по запасам цинка в России. Установлено, что первичные сульфидные руды подвержены интенсивным пострудным деформациям и перекристаллизации, которые сопровождали динамический и контактовый метаморфизм. Преобразования выражаются в укрупнении размерности минералов и формировании карбонат-кварц-сульфидных жил и прожилков. Рудные минералы – сфалерит, галенит и пирит, реже присутствуют халькопирит, пирротин, арсенопирит, марказит; встречаются сульфиды и сульфосоли Ag. Жильные минералы – кварц, сидерит, марганцовистый сидерит (олигонит); также присутствуют Ba-содержащий мусковит (эллахерит) и хлорит. Установлено, что перекристаллизация руд происходила при повышенных P-T параметрах – температуре до 535°C и давлении до 2 кбар, в присутствии относительно высококонцентрированной (соленость до 21.5 мас. % экв. NaCl) флюидной фазы. Преобразования руд в основном обусловлены процессами динамометаморфизма.

Ключевые слова: Озерное полиметаллическое месторождение, сульфидные руды, эпигенетические преобразования.

Conditions for the formation of recrystallized ores Ozernoe polymetallic deposit (Western Transbaikalya, Russia)

Damdinova L.B.¹, Damdinov B.B.¹, Vikentiev I.V.^{1,2}, Reutsky V.N.³

¹Geological Institute, N. L. Dobretsova SB RAS, Ulan-Ude, Russia, ludamdinova@mail.ru

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Institute of Geology and Mineralogy, V.S. Sobolev SB RAS, Novosibirsk

Abstract. The Ozernoe lead-zinc deposit is the largest in Russia in terms of zinc reserves. It has been established that primary sulfide ores are subject to intense post-ore deformations and recrystallization, which accompanied dynamic and contact metamorphism. Transformations are expressed in the enlargement of the dimension of minerals and the formation of carbonate-quartz-sulfide veins and veinlets. Ore minerals are sphalerite, galena, and pyrite; less common are chalcopyrite, pyrrhotite, arsenopyrite, and marcasite; there are sulfides and sulfosalts of Ag. Vein minerals – quartz, siderite, manganese siderite (oligonite); Ba-bearing muscovite (ellacherite) and chlorite are also present. It has been established that the recrystallization of ores occurred at elevated P-T parameters – temperatures up to 535°C and pressures up to 2 kbar, in the presence of a relatively highly concentrated (salinity up to 21.5 wt % NaCl equiv.) fluid phase. The transformation of ores is mainly due to the processes of dynamometamorphism.

Keywords: Ozernoe polymetallic deposit, sulfide ores, epigenetic transformations.

Введение

Озерное свинцово-цинковое месторождение – крупнейшее по запасам цинка в России, было открыто в 1963 г. в результате проверки комплексной геофизической аномалии. Месторождение расположено в Курбино-Еравнинском рудном районе Западного Забайкалья (Гордиенко, Нефедьев, 2015) и является крупнейшим объектом Озернинского рудного узла, в пределах которого известны также около 20 мелких и средних по запасам колчеданно-полиметаллических, золото-полиметаллических, железорудных, медно-баритовых и др. месторождений; в водотоках известны промышленные россыпи золота. Исследования месторождений Озернинского рудного узла делятся более 60 лет, но до сих пор многие вопросы их происхождения остаются предметом дискуссий.

Озерное месторождение большинством исследователей относится к гидротермально-осадочному типу (Тарасова и др., 1972; Ковалев, Бусленко, 1992; Васильев, 1977 и др.) и характеризуется низкой степенью метаморфизма и относительно хорошей сохранностью первичных текстур сульфидных руд, что выражено в широком развитии их слоистых и брекчиевых разновидностей. В то же время отмечается частичная регенерация сульфидных руд в локальных участках динамического и контактового метаморфизма, а также

кремнещелочного метасоматоза, однако обычно считается, что объем связанных с такими процессами руд незначителен.

В то же время, наблюдения показывают, что руды достаточно часто несут признаки эпигенетических преобразований – динамометаморфизма, перекристаллизации; широко развиты карбонат-кварц-сульфидные жилы и прожилки, происхождение и P-T параметры формирования которых остаются неизвестными. При этом следует отметить, что перекристаллизованные руды и кварц-сульфидные прожилки, в отличие от первичных руд, характеризуются крупнокристаллическим либо гнездовым строением, с крупными совместными выделениями сфалерита и галенита, которые становятся преобладающими минералами руд. То есть вторичные преобразования, как правило, приводят к улучшению качественных показателей руд, в том числе, и к природному обогащению полезными компонентами первичных мелко-тонкозернистых гидротермально-осадочных руд. При этом масштабы этих процессов, по-видимому, намного шире, чем представлялось ранее. Для реконструкции геологических процессов, вызывающих эпигенетические преобразования полиметаллических руд, и оценки их влияния на руды месторождения проведено изучение минерального состава наиболее богатых перекристаллизованных руд, карбонат-кварц-сульфидных жил и прожилков, а также выполнены термобарогехимические исследования флюидных включений в жильных минералах.

Геологическое строение

Основная часть Озернинского рудного узла, в состав которого входит Озерное полиметаллическое месторождение, сложена стратифицированными палеозойскими образованиями, слагающими останец площадью около 250 км² в поле развития позднепалеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского батолита. В палеотектоническом плане рудный узел входит в состав Удино-Витимской структурно-формационной зоны, реконструированной в качестве палеоостроводужной системы (Руженцев и др., 2012 и др.).

Рудовмещающая толща ранее традиционно относилась к кембрийской олдындинской свите (Тарасова и др., 1972), в составе которой выделялось несколько подсвит. Нижняя подсвита, преимущественно вулканогенная, на Озерном месторождении представлена туфами и лавами риодацитов, переслаивающимися с известняками, туфами и углистыми мелкообломочными туффитами. Верхняя подсвита в рудном поле сложена туфами и лавами среднего и кислого составов, известковистыми и кремнистыми, нередко углистыми мелкообломочными туффитами, серыми слоистыми и массивными известняками, известняковыми брекчиями и гравелитами с туфогенно-карбонатным цементом.

Проявления интрузивного магматизма в рудном поле Озерного месторождения представлены силлообразными и секущими телами риолитов и дацитов, дайками андезитовых порфиритов, сиенит-порфиров, долеритов и трахидолеритов. Гранитоиды, присутствующие в рудном поле месторождения, отнесены к позднепалеозойскому бичурскому комплексу.

Рудные тела были детально разведаны до глубины 350 м. Мощность основной продуктивной толщи колеблется от 140 до 230 м. Ее разрез включает 12 рудных залежей, представляющих собой серию пластообразных рудных тел, разделенных безрудными слоями осадочных и вулканокластических пород мощностью от 5 до 30 м. Внутреннее строение рудных тел неоднородно, с чередованием слоев колчеданно-полиметаллических руд, туфов, мелкообломочных туффитов и известняковых брекчий, в различной степени обогащенных сульфидами. По морфологии и внутреннему строению выделяют четыре типа рудных тел: 1) пластовые залежи, выдержанные по форме и распределению колчеданного оруденения; 2) лентовидные пластообразные залежи неоднородного внутреннего строения; 3) сложные по форме уплощенные залежи с неравномерным распределением колчеданного оруденения; 4) линзовидные залежи небольших размеров. Сульфидные тела залегают, в целом, согласно с вмещающими породами, границы их в основном резкие. Протяженность рудных тел 1300-2340 м, а мощность меняется от 1 до 30-50 м, возрастая от флангов к центральным частям. Следует отметить, что порядка одной третьей части объема рудных тел сложено

перекристаллизованным рудами, пространственно ассоциирующими с пластовыми телами сидеритовых руд, происхождение которых считается метасоматическим (Ковалев, Бусленко, 1992).

Минеральный состав руд озерного месторождения

Первичные руды

Главные рудные минералы Pb-Zn рудных залежей – пирит, сфалерит и галенит, второстепенные – магнетит, халькопирит, марказит, блеклая руда и арсенопирит. К более редким относятся борнит, пирротин и самородное серебро. Среди нерудных минералов преобладают сидерит, кальцит, барит, кварц, доломит, анкерит, серицит и хлорит.

Первичные руды представлены массивными, полосчатыми и брекчиевыми разновидностями. К характерным признакам первичных руд месторождения относится широкое развитие полосчатых (слоистых и псевдослоистых) текстур, чему способствуют в целом невысокая нарушенность месторождения пострудными пликативными и дизъюнктивными нарушениями. Заметную роль в колчеданных залежах играют брекчиевидные руды, сложенные обломками известняков, сидеритов, яшмоидов, метасоматитов и сульфидных руд, в том числе слоистых с сульфидным (галенитовым, галенит-сфалеритовым и др.) и сульфидно-карбонатным цементом. Брекчиевидные, вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды составляют около 36 % от объема руд.

Перекристаллизованные руды

Несмотря на кажущуюся «недеформированность» руд, эпигенетические преобразования первичных слоисто-полосчатых и брекчиевидных руд проявлены достаточно широко. Среди признаков перекристаллизации руд наиболее распространены следующие: укрупнение выделений рудных минералов вплоть до образования сливных рудных агрегатов мономинеральных галенита или сфалерита, наличие деформационных текстур, указывающих на динамометаморфизм руд, развитие жильной и прожилковой минерализации.

Жилы и прожилки развиваются по пластовым сульфидным рудам и могут иметь как секущие взаимоотношения с первичными рудами, так и залегать субсогласно со слоистостью руд. Жилы характеризуются кварц-карбонат(сидерит)-сульфидным составом, с разными соотношениями перечисленных минералов, от карбонатно-кварцевых с гнездами сульфидов, до существенно-сульфидных, с небольшим количеством кварца и карбоната в интерстициях.

Обычно главный жильный минерал представлен кварцем, который имеет светлую окраску, он образует либо сплошные скопления, либо встречается в виде округлых, овальных или изометричных зерен, пространство между которыми заполнено рудными минералами, карбонатами и др.

Карбонаты в жилах и прожилках имеют ксеноморфный облик, заполняют интерстиции между другими минералами, участками находятся в тесном срастании с агрегатами хлорита. По химическому составу они представлены сидеритом и марганцовистым сидеритом (олигонитом) с содержанием Mn до 10.8 мас.% и Mg до 3.3 мас.%.

Слюда в рудах представлена мусковитом, который встречается в виде единичных зерен вытянутой таблитчатой формы размером до 300 мкм, либо в виде скоплений агрегатов таблитчатой формы с ярко-выраженной зональностью. Мусковит практически всегда содержит примесь BaO (5.08-7.66 мас.%) и относится к бариевой разновидности – розовому мусковиту (эллахериту); содержания K₂O в нем несколько ниже теоретического состава мусковита, от 8.73 до 10.26 мас.%, содержания MgO варьируют от 0.75 до 1.77 мас. %. Зональность мусковита обусловлена вариациями в распределении бария и железа. Так, более светлые полосы содержат относительно повышенные концентрации BaO (≥ 7 мас.%) и FeO (6.2-7.3 мас. %), относительно темные участки зерен обеднены BaO (до 5.7 мас.%) и FeO (≤ 4.9 мас. %).

Хлорит образует агрегаты неправильной ксеноморфной формы, нередко в тесном срастании с сидеритом. Кроме этого, в сплошных рудах отмечаются единичные гипидиоморфные кристаллы фосфата PЗЭ – рабдофана вытянутой формы. Кристаллы частично корродированы пиритом.

Рудные минералы прожилков представлены сульфидами: сфалеритом, галенитом и пиритом в разных соотношениях, в меньших количествах присутствуют халькопирит, пирротин, арсенопирит, марказит, сульфиды и сульфосоли Ag. Пирит участками образует сплошные, практически сливные агрегаты с более мелкими включениями галенита и сфалерита, иногда пирит присутствует в виде скоплений мелких кристаллов кубической формы. Галенит в основном образует ксеноморфные выделения или включения в агрегатах пирита. Сфалерит встречается в виде выделений в агрегатах пирита или в виде мелких одиночных зерен. В некоторых участках отмечаются ксеноморфные полиминеральные агрегаты акантита Ag_2S и пиростильпнитита Ag_3SbS_3 в сростании с галенитом и сфалеритом, заполняющие пространства между гипидиоморфными кристаллами пирита.

Изотопный состав серы и кислорода

Изотопный состав серы в сульфидах из прожилков характеризуется относительным обогащением тяжелым изотопом, но значения $\delta^{34}S$ сильно варьируют в пределах 8.2-25 ‰, что свидетельствует о гетерогенном источнике серы. Расчет температур образования сульфидов по изотопному геотермометру (по парам галенит-сфалерит и пирит-галенит) показал интервал значений 430-450 °C; по флюидным включениям (см. ниже) параметры близкие.

Значения $\delta^{18}O$ в кварце составляют 16.9-17.9 ‰. Расчет изотопного состава равновесного флюида; для температуры 450 °C показал значения $\delta^{18}O_{фл} = 13.6-14.6$ ‰, что соответствует значениям, характерным для метаморфических вод.

Термобарогеохимические исследования

Для выяснения условий перекристаллизации руд были проведены исследования флюидных включений (ФВ) в кварце и сидерите из вышеописанных сидерит-кварц-сульфидных жил и прожилков. Исследованиям были подвержены первичные ФВ, которые имеют двухфазовый состав (газ>жидкость) и размеры в интервале от первых до 10 микрон, в единичных случаях до ~20 мкм.

Большая часть изученных включений находится в зернах кварца. Такие ФВ часто имеют округлую; или изометричную форму и относительно крупную газовую фазу. Большая часть таких включений гомогенизируется в жидкую фазу при температурах гомогенизации (T_g) в интервале от 420 до 200°C, единичные включения при температуре 505 °C. Кроме этого, в некоторых зернах кварца отмечаются более редкие включения овальной или изометричной формы, которые гомогенизируются в газовую фазу при относительно более высоких температурах от 535–390°C и одно ФВ – при 300 °C.

Температуры плавления льда во включениях в кварце менялись от –18.7 до –5°C, соответственно соленость растворов варьировала в диапазоне от 21.5 до 7.9 мас. % экв. NaCl. Температуры эвтектики соответствуют двум диапазонам –21.2...–23.4 и –38...–55°C. Такие значения наиболее соответствуют солевым системам NaCl–H₂O, NaCl–KCl–H₂O, MgCl₂–KCl–H₂O и CaCl₂–NaCl–H₂O.

В некоторых зернах кварца в пределах одной зоны роста отмечаются группы мелких ($\leq 2-5$ мкм) сингенетичных существенно-газовых (С-Г) и существенно-водных (С-В) флюидных включений. Наличие таких ФВ является свидетельством периодов гетерогенизации (вскипания) рудообразующих растворов. Это позволяет считать, что измеренные температуры гомогенизации были близки к истинным значениям температур минералообразования, что подтверждается данными по изотопной термометрии. Так, расчет температур изотопного равновесия в парах пирит-галенит, галенит-сфалерит показал значения температур 430–450°C, что попадает в интервал измеренных температур гомогенизации ФВ.

В зернах сидерита встречаются относительно редкие первичные флюидные включения, которые также имеют небольшие размеры от первых микрон до ~10 микрон. Диапазон температур гомогенизации этих включений несколько ниже по сравнению с включениями из кварца, он варьирует от 320 до 219°C. Температуры плавления льда заметно ниже и

меняются в интервале от -3.5 до -6°C , что соответствует общей солености растворов – 5.7-9.2 мас. % экв. NaCl. Температуры эвтектики в этих включениях определить не удалось.

Газовый состав включений, определенный методом раман-спектроскопии, показал наличие CO_2 , в некоторых включениях кроме CO_2 идентифицирован CH_4 .

Расчет давлений минералообразования по фенгитовому геобарометру, по разным авторам, и по программе HOKIEFLINCS_ H_2O -NaCl показал согласующиеся значения в интервале 875-2054 бар.

Выводы

1. Перекристаллизация первичных руд Озерного Pb-Zn месторождения выражается в укрупнении размерности минеральных агрегатов и формировании карбонат-кварц-сульфидных жил и прожилков с разными соотношениями указанных минералов.

2. Рудные минералы жил и прожилков представлены сульфидами: сфалеритом, галенитом и пиритом в разных соотношениях, в меньших количествах присутствуют халькопирит, пирротин, арсенопирит, марказит, сульфиды и сульфосоли Ag. Жильные минералы – кварц, сидерит, марганцовистый сидерит (олигонит); также присутствуют Ba-содержащий мусковит (эллахерит) и хлорит.

3. Термобарогеохимическими исследованиям установлено, что процессы перекристаллизации руд происходили при повышенных P-T параметрах, температуре до 535°C и давлении до 2 кбар, в присутствии относительно высококонцентрированной (соленость до 21.5 мас. % экв. NaCl) флюидной фазы, в составе газовой фазы установлены CO_2 и CH_4 . Высокотемпературные условия подтверждаются данными изотопной термометрии. На поздней стадии руды подвергались диафторезу.

4. Преобразования руд обусловлены процессами динамометаморфизма, но неопределенность с возрастом оруденения Озерного месторождения не позволяет оценить время развития метаморфических процессов и увязать их с этапами геодинамической эволюции региона. Это требует дальнейших исследований.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного Фонда № 22-17-00106.

Библиографический список

1. Васильев И.Л. Геология Еравнинского рудного поля. – Новосибирск: Наука, 1977. – 126 с.
2. Гордиенко И.В., Нефедьев М.А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57, № 2. – С. 114-124.
3. Ковалев К.Р., Бусленко А.И. Гидротермально-осадочный рудогенез и полиметаморфизм руд Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). – Новосибирск: Наука, 1992. – 214 с.
4. Руженцев С.В., Минина О.Р., Некрасов Г.Е., Аристов В.А., Голионко Б.Г., Доронина Н.А., Лыхин Д.А. Байкало-Витимская складчатая система: строение и геодинамическая эволюция // Геотектоника. – 2012. – № 2. – С. 3-28.
5. Тарасова Р.С., Близнюк М.В., Бабкин И.Н. О формационном типе и генезисе Озерного свинцово-цинкового колчеданного месторождения // Геология и генезис эндогенных рудных формаций Сибири. – М.: Наука, 1972. вып. 143.

Особенности формирования и размещения древних осадочных алмазосодержащих толщ

Зинчук Н.Н.

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я), г. Мирный, nnzinchuk@rambler.ru

Аннотация. На основании изучения геодинамических, фациальных условий формирования и вещественного состава верхнепалеозойских осадочных толщ Малоботуобинского алмазоносного района Сибирской платформы оценена роль местного (в том числе кимберлитового) материала в различных фациальных разрезах лапчанской, ботуобинской и боруллойских свит пермского возраста, что позволило высказать рекомендации как по методологии формационно-фациального анализа, так и важности отдельных обстановок для прогнозно-поисковых работ на алмазы. Кимберлитовый материал в бассейны седиментации фаций нижних частей разрезов рассматриваемых стратиграфических подразделений поступал за счет размыва верхних горизонтов как известных, так еще не открытых диатрем в областях денудации.

Ключевые слова: фациальный анализ, верхнепалеозойские алмазоносные осадочные образования, Сибирская платформа.

Features of formation and locating of ancient sedimentary diamond-bearing thick layers

Zinchuk N.N.

West-Yakutian Scientific Centre (ZYANZ) of RS (Ya), Mirny, nnzinchuk@rambler.ru

Abstract. Basing on studying geodynamic, facial conditions of formation and material composition of Upper Paleozoic sedimentary thicknesses of Malo-Botuobinsky diamondiferous region of the Siberian platform the role of local (including kimberlite) material in various facial sections of Lapchansky, Botuobinsky, and Borulloosky suites of Permian age was evaluated, which allowed delivering recommendations both on methodology of formation-facial analysis and about importance of individual situations for forecast-prospecting works on diamonds. Kimberlite material was delivered to sedimentation basins of lower parts of the sections' facies of considered stratigraphic subdivisions due to washout of upper levels of both known and still not discovered diatremes in denudation areas.

Keywords: facial analysis, Upper Paleozoic diamondiferous sedimentary formations, Siberian platform.

В алмазоперспективных районах древних платформ мира широким развитием пользуются древние коры выветривания (КВ) на различных породах [1-5], а также отложения, обогащенные продуктами их размыва и переотложения в различных фациальных обстановках [6-8]. Интенсивность выветривания обычно возрастает с увеличением температуры и количества выпадающих осадков. Большое значение при этом имеет также обилие гумусового вещества, обладающего кислотными свойствами. Мощность КВ во многом зависит от глубины залегания грунтовых вод. Наиболее мощная КВ формируется на водоразделах, в то время как интенсивная денудация элювиальных продуктов происходит вдоль эрозионной сети, а на плоских водоразделах наблюдается минимальный размыв при наиболее интенсивном дренаже. Сохраняются от размыва элювиальные продукты только при стечении благоприятных факторов и, преимущественно, в понижениях древнего рельефа и в тектонически опущенных блоках. Наиболее детально КВ в алмазоносных регионах изучены в Малоботуобинском (МБАР), Далдыно-Алакитском (ДААР) и Средне-Мархинском (СМАР) районах Сибирской платформы (СП), в которых благоприятные палеогеографические условия для формирования выветрелых толщ существовали [9-11] преимущественно в позднедевонское- раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время (рисунок 1).

Поскольку на рассматриваемой территории в конце девона произошло сокращение морского бассейна [12-14], то на северо-западе и северо-востоке Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС) сформировались прибрежные низменные равнины, а на юге как этой, так и Вилуйской мезозойской синеклиз (ВМС), возникли равнины с континентальным осадконакоплением, которые разделялись более высокими денудационными плато. Каменноугольному периоду активизации общего воздымания СП предшествовала эпоха относительного покоя, в течение которой практически не происходило дифференцированных тектонических движений. сформировались прибрежные низменные равнины, а на юге как этой, так и Вилуйской мезозойской синеклиз (ВМС),

возникли равнины с континентальным осадконакоплением которые разделялись более высокими денудационными плато.

Группа	Система	Отдел	Обобщенная литологич. колонка и перемены в осадконакопл.	Эпохи корообразования	Коррелятивные осадки	Примечание		
Кайнозойская KZ	Четвертичная	Q		?		На Сибирской платформе устанавливается развитие указанных эпох корообразования. Однако в рассматриваемом регионе соответствующие им коры выветривания и коррелятивные осадки отсутствуют		
	Неогеновая N	Плиоцен N ₂						
		Миоцен N ₁						
	Палеогеновая P	Олигоцен P ₃					?	
		Эоцен P ₂						
Палеоцен P ₁			?					
Мезозойская MZ	Меловая K	K ₂				В депрессиях траппового плато формировались обогащенные продуктами кор выветривания преимущественно глинистые образования, а на остальной территории - чуждые региону песчаногалечные отложения полимиктового состава		
		K ₁		?				
	Юрская J	J ₃						
		J ₂						
		J ₁						
	Триасовая T	T ₃						
		T ₂						
T ₁								
Палеозойская PZ	Пермская P	P ₂				На отдельных площадях региона фрагментарно накапливались мало мощные терригенные отложения D ₃ -C ₁ , которые впоследствии были размывы		
		P ₁						
	Каменноугольная C	C ₃						
		C ₂						
		C ₁					?	
	Девонская D	D ₃						
		D ₂						
		D ₁						
	Силурийская S	S ₂						
		S ₁						
	Ордовикская O	O ₃						
		O ₂					?	
O ₁								
Кембрийская E	E ₃							
	E ₂							
	E ₁							
Протерозойская PR	Вендская V	V				Отсутствуют данные об эпохах корообразования PR в регионе		
Архейская AR			+++ +++					

Рисунок 1. Эпохи корообразования в фанерозе Якутской алмазоносной провинции СП.

Каменноугольному периоду активизации общего воздымания СП предшествовала эпоха относительного покоя, в течение которой практически не происходило дифференцированных тектонических движений. Выравнивание пенепленизированного рельефа и образование элювия на исходных породах протекало постепенно на протяжении всего периода формирования территории, при котором продукты КВ поступали в коррелятивные толщи равномерно, что связано с незначительными в это время изменениями тектонического режима и палеорельефа. Поэтому отложения нижнего карбона ТВС отражают погребенную поверхность выравнивания на границе девона и карбона и по всему разрезу обогащены продуктами выветривания, представляя тем самым формацию КВ [4, 7, 9]. Общая картина осадконакопления в карбоне (по сравнению с девоном) изменялась мало. На территории ТВС в карбоне и перми широкое развитие получили низменные заболоченные равнины с угленосными отложениями. В конце пермского периода во многих районах СП начались излияния лав и внедрение траппов (особенно сильно проявившиеся к началу раннего триаса). К концу этого периода длительная эпоха денудации завершилась пенепленизацией СП. Региональная пенепленизация в среднем и позднем триасе обусловлена эпохой относительного тектонического покоя, предшествующая юрской активизации СП. В этот же период происходило формирование мощной КВ, причем корообразование, денудация и переотложение элювиальных продуктов в коррелятивные толщи происходили относительно равномерно, что было обусловлено (как и в позднем девоне-раннем карбоне) слабым изменением палеорельефа и тектонического режима.

Особенности геодинамических и фациальных условий формирования древних осадочных толщ нами рассмотрены на примере одного из самых развитых в плане добычи алмазов - МБАР СП, в котором перспективными для дальнейшего прироста сырья являются верхнепалеозойские отложения, в разрезе которых выделяются [1-3] лапчанская (P_{1l}), ботубинской (P_{1b}) и боруллойской (P_{2br}) свиты. В пределах площади распространения отложений *лапчанской свиты* выделяется пять фациальных зон: развития аллювиальных, аллювиально-пролювиальных, делювиальных, делювиально-пролювиальных, озерно-лагунных и лагунных отложений. Эти зоны сменяют друг друга по площади и характеризуют три палеоландшафтные области, отражающие условия седиментации отложений лапчанской свиты: подножий склонов и конусов выноса, речных долин (малых водотоков), заливно-лагунного мелководья бассейна. Область подножий склонов и конусов выноса отмечена в юго-западной, центральной и северо-западных частях рассматриваемой территории. Она окаймляет крупное палеоподняtie и постепенно переходит в незначительную по размерам область речных долин. В западной части региона в то время господствовали бассейновые условия седиментации. Эта область включает зону развития делювиальных и делювиально-пролювиальных образований. Здесь получили развитие фации песчано-алеврито-щебнистых элювиально-делювиальных образований (ЭД), гравийно-песчано-алевритовых осадков пролювия (ПР), алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озер (ОЗ), алеврито-песчаных осадков крупных озер (ОК), углисто-глинистых осадков заиляющихся торфяных болот (БЗ) и осадков торфяных болот (БТ). Образование отложений лапчанской свиты в северной и северо-западной части региона началось [2-5] на ограниченных площадях с выполнения с элювиально-делювиальными осадками отрицательных форм древнего рельефа, расположенных вблизи наиболее длительно существовавших в рассматриваемый период областей денудации. Это несортированные отложения, представленные щебенкой терригенно-карбонатных пород нижнего палеозоя, сцементированной карбонатно-глинистым и алеврито-глинистым материалом. В основании разреза происходило накопление преимущественно к внутренним частям впадин тонкозернистыми пролювиальными и озерными осадками. В краевых частях конусов выноса периодически возникали мелкие озерные водоемы, которые часто подвергались кратковременному заболачиванию, чем и объясняется появление в разрезе осадков торфяных болот. Область речных долин (малых водотоков) включает зону преимущественного развития аллювиально-пролювиальных осадков и имеет

незначительное распространение. Рассматриваемые отложения выполняют наиболее пониженные участки доверхнепалеозойского рельефа, в то время как на прилегающих склонах палеоподнятий накапливались элювиально-делювиальные и пролювиальные отложения. Область заливно-лагунного мелководья бассейна получила довольно широкое распространение и включает зоны озерно-лагунных и лагунных отложений. В начальную стадию седиментации в основании лапчанского разреза происходило накопление песчано-алеврито-щебнистых элювиально-делювиальных осадков (ЭД). Последовавшая трансгрессия морского бассейна обусловила преимущественное накопление алеврито-глинистых осадков лагун (ЛЗ). В верхней части разреза отмечаются фации алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озёр (ОЗ).

В пределах площади распространения отложений нижней части *ботубинской свиты* выделяется несколько фациальных зон: преимущественного развития аллювиальных, подвижного мелководья бассейна, подводно-дельтовых, озерно-болотных отложений и осадков заливно-лагунного мелководья бассейна, при участии озёрно-болотных делювиально-лагунных и пролювиально-лагунных образований. По условиям седиментации все перечисленные фациальные зоны объединяются [3] в следующие палеоландшафтные области: континентального осадконакопления, приберегового сильно подвижного мелководья, заливно-лагунного мелководья и открытого подвижного мелководья бассейна. В начале раннепермского времени широкое развитие получил комплекс фаций континентальных отложений. Затем последовало незначительное прогибание территории, что способствовало дальнейшему продвижению вод бассейна вглубь суши. В результате этого сокращалась площадь континентального осадконакопления и устанавливались преимущественно бассейновые условия седиментации, что нашло отражение в распределении фациальных зон как по площади, так и в разрезе. В основании разреза ботубинской свиты преобладают фации песчаных осадков русла и подводной части дельты (ПД). Они слагают основную часть разреза и выше перекрываются фациями глинисто-алеврито-песчаных осадков открытого подвижного мелководья бассейна (ОМБ), песчаных осадков баров, кос и россыпей (БКП). Фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ) обычно залегают на отложениях открытого подвижного мелководья бассейна, осадков баров, кос, пересыпей и реже непосредственно перекрывают отложения подводной части дельты. В пределах области развития заливно-лагунного мелководья бассейна выделяются три фациальные зоны. В основании разреза отмечаются незначительные по мощности фации песчано-алеврито-щебнистых элювиально-делювиальных образований (ЭД), которые выше по разрезу перекрываются отложениями фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). Нижняя часть зоны развития пролювиально-лагунных отложений обычно представлена фацией гравийно-песчано-алевритовых осадков пролювия (ПР). Выше по разрезу залегают фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). Зона развития озерно-болотных и лагунных отложений имеет широкое площадное распространение. Здесь устанавливаются фации алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). В разрезе отмечаются также фации алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озёр (ОЗ), углисто-глинистых осадков заливающихся торфяных болот (БЗ), алеврито-песчаных осадков крупных озёр (ОК), глинисто-алеврито-песчаных осадков открытого подвижного мелководья бассейна (ОМБ) и песчаных осадков подводной дельты (ПД).

В пределах поля развития нижней части разреза *боруллойской свиты* выделяются [1-4] четыре фациальные зоны: преимущественного развития аллювиальных, аллювиально-дельтовых и подводнодельтовых отложений, а также образований открытого мелководья бассейна. Перечисленные фациальные зоны образуют три палеоландшафтные области, характеризующиеся различными условиями седиментации в начале позднепермского времени: речных долин и аллювиально-дельтовых равнин, приберегового сильно подвижного мелководья и открытого подвижного мелководья бассейна. Область речных долин и лагунно-дельтовых равнин включает в себя фациальные зоны развития аллювиальных и аллювиально-дельтовых отложений. Аллювиальная равнина получила

довольно широкое развитие, окаймляя крупное позднепермское палеоподняtie, расположенное в восточной и южной части рассматриваемой территории, которая являлась в этот период областью длительного размыва. В пределах аллювиальной равнины преимущественное развитие получили фации песчано-гравийно-галечных осадков русла (АР) и песчано-алевритовых осадков поймы (АП). Меньшее распространение получили фации: алеврито-песчаных осадков крупных озер (ОК), алеврито-глинистых осадков застойных и зарастающих озер (ОКЗ), углисто-глинистых осадков заливающихся торфяных болот, а также осадков торфяных болот. Последние обычно наблюдаются в верхних частях разрезов и нередко тяготеют к бортам долины. В западной части изученной территории получила развитие аллювиально-дельтовая равнина, которая примыкает на всём своём протяжении к довольно обширной зоне подвижной дельты. Область приберегового сильно подвижного бассейна включает в себя фациальную зону преимущественного развития подводнодельтовых осадков, для которых характерно преобладание фаций песчаных осадков подводной дельты (ПД), на которых вблизи береговой линии залегают фации алеврито-глинистых осадков застойных, зарастающих озер (ОЗ) и алеврито-глинистых осадков лагун и заливов (ЛЗ). Область подводного открытого мелководья занимает зону преимущественного развития фаций глинисто-алеврито-песчаных осадков открытого мелководья бассейна (ОМБ). В основании позднепермского разреза залегают фации песчаных осадков подводной части дельты (ПД) и незначительные по мощности фации углисто-глинистых осадков заиливающихся торфяных болот (БЗ), которые перекрываются глинисто-алеврито-песчаными осадками открытого подвижного мелководья бассейна, а также алеврито-глинистыми осадками лагун и заливов (ЛЗ). Итак, нами показано значительное уменьшение в нижнепермское время восходящих тектонических движений в бассейнах седиментации, что привело к перестройке палеогеографической зональности и установлению перерыва в осадконакоплении на части изученной территории. Последовавшая тектоническая стабилизация и гумидный климат обусловили развитие гипергенных процессов, а геодинамические процессы привели к формированию элювиального чехла на изверженных и осадочных породах региона. Замедление тектонических движений компенсировалось осадконакоплением и заканчивалось регрессией. Минимум регрессии приходится на первую половину раннеборулуйского времени, а максимум – на конец этого же периода. Кимберлитовый материал (алмазы и их минералы-спутники, переотложенные выветрелые продукты) в фации нижних частей разрезов поступал за счет размыва верхних горизонтов как из известных в регионе диатрем, так и тел, предполагаемых в областях денудации.

Библиографический список

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. № 1. – С. 90-96.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 1998. Т. 361. № 3. – С. 366-369.
3. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.Н. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009. Т. 138. № 2. – С. 1-13.
4. Зинчук Н.Н. Кремнистые минералы в кимберлитах // Вестник Воронежского университета. Геология. – 2022. – № 4. – С. 38-52.
5. Зинчук Н.Н. Особенности петрографического изучения кимберлитовых пород // Отечественная геология. – 2022. – № 4. – С. 34-49.
6. Зинчук Н.Н. Литолого-стратиграфические исследования при алмазопроисковых работах // Вестник СВФУ. Науки о Земле. – 2023. – № 1 (29). – С. 5-28.
7. Зинчук Н.Н. Особенности гидротермального и гипергенного изменения слюдяных кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2023. – Т. 22. – № 1. – С. 32-50.
8. Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Б. Особенности минерации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ, 2004. – 172 с.
9. Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Черный С.Д. Стратегия ведения и результаты алмазопроисковых работ // Горный вестник. 1997. № 3. – С. 53-57.

10. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Сравнительные особенности алмазов из коренных источников с высокой плотностью расположения кимберлитовых тел // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2023. – № 1 (65). – С. 28-42.
11. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. 1987. № 10. – С. 66-72.
12. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Зинчук Н.Н. Эпохи мощного корообразования в истории Земли. – Воронеж: ВГУ. – 1999. – 102 с.
13. Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. 1987. Т. 296. № 5. – С. 1228-1233.
14. Grachanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. 2015. Т. 465. № 2. – PP. 1297-1301.

Сравнительные особенности алмазов из кимберлитов северо-востока Сибирской платформы

Зинчук Н.Н.

Западно-Якутский научный центр АН РС (Я), Мирный, Россия, nnzinchuk@rambler.ru

Аннотация. В результате комплексного изучения алмазов Лено-Анабарской алмазоносной субпровинции (ЛААСП) показано, что область развития отдельных макроассоциаций минерала ограничивается конкретным алмазоносным районом, в пределах которого развиты комплексы разновозрастных терригенных и прибрежно-морских верхнепалеозойских и мезозойских отложений и рядом находится Анабарский кристаллический массив. Результаты комплексных исследований алмазов из кимберлитовых диатрем северо-востока Сибирской платформы (СВСП) свидетельствуют о гетерогенности строения верхней мантии региона. Отдельные её блоки могут быть сложены эклогитами и при формировании магматических очагов в алмазоносном эклогитовом субстрате продуктивными могут оказаться породы, по составу отличающиеся от типичных 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 предполагать присутствие таких диатрем и в периферических частях изученных территорий.

Ключевые слова: типоморфизм алмазов, Сибирская платформа, региональный и локальный прогноз.

Production features of diamonds from kimberlite of the north-east of the Siberian platform

Zinchuk N.N.

West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny, Russia, nnzinchuk@rambler.ru

Abstract. Special attention is paid to the Leno-Anabarskoy diamond sub-province (LAASP), where it is convincingly shown that the area of development of individual diamond macro-associations is limited by a specific diamondiferous region, within which complexes of different in age terrigenous and coastal Upper Paleozoic and Mesozoic sediments are developed. 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 of the Siberian platform north eastern part as well.

Keywords: Typomorphism of diamonds, Siberian platform, regional and local forecast, high-diamondiferous kimberlites.

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 установлено широкое развитие алмазов в разновозрастных вторичных коллекторах. Прогнозные и геолого-поисковые работы в этот период 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 объектом поиска, представилось возможным привлечь к решению прогнозно-поисковых задач широкое разнообразие его типоморфных особенностей, существенно различающихся в диатремах различного геологического строения [2-4]. Кимберлитовые тела располагаются крайне неравномерно и группируются в 25 полях, которые объединяются в восемь обособленных алмазоносных районов [1-9]. Алмазоносность установлена только в порядка 150 кимберлитовых телах, среди которых промышленно обрабатываются трубки Мир, Интернациональная, Удачная, Айхал, Юбилейная, Зарница, Ботуобинская, 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 Малоботуобинском (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 [3, 6-9], в том числе и докембрийского возраста [1, 2, 4]. 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. По мнению большинства исследователей, для кимберлитовых тел СВСП (преимущественно мезозойского возраста) характерен комплекс особенностей вещественного состава, отличающий их от кимберлитовых тел Центрально-Сибирской субпровинции (ЦССП). Кимберлитовые породы здесь представлены интрузивной и эксплозивной фазой. 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 пониженным содержанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа I разновидности и отсутствием кристаллов II, V и VII разновидностей. В этих кимберлитовых телах преобладают обычные для кимберлитовых тел ЦССП 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 ЦССП (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-разобобщенных кустов трубок (северного – Ленинград и Русловая, южного – Светлана и Лорик). Основные типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел СВСП показали (рисунок 1), что для северного куста *Омонос-Укукитского поля* характерно повышенное (более 2/3) суммарное содержание кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов I разновидности.

Основные типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел СВСП показали (рисунок 1), что для северного куста *Омонос-Укукитского поля* 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, 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.

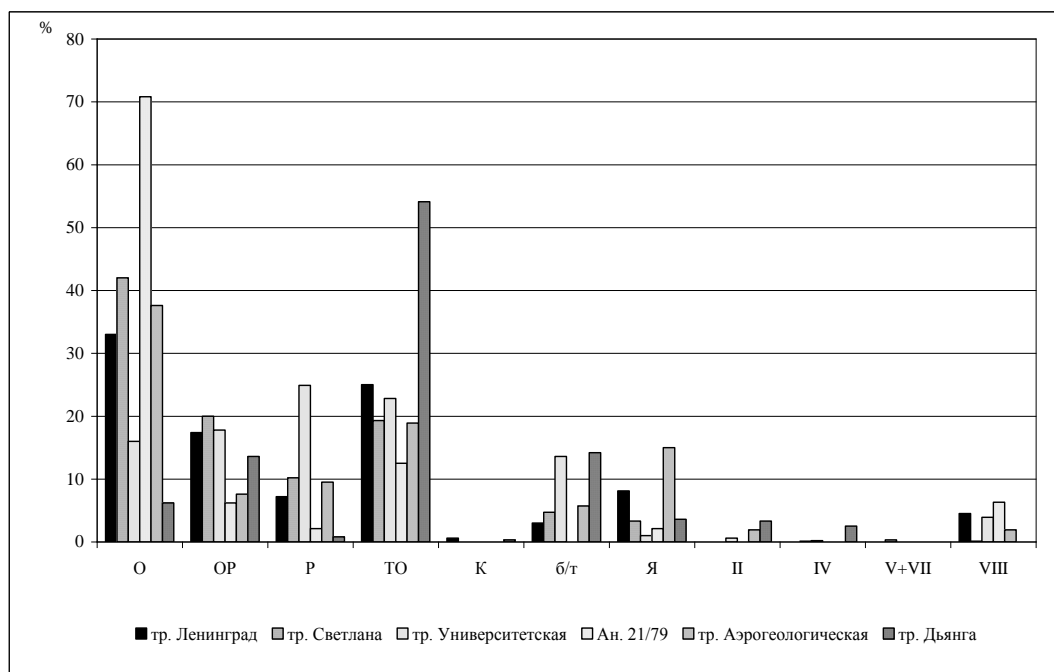


Рисунок 1. Типоморфные особенности алмазов из кимберлитовых тел с убогой алмазоносностью. I, II, IV, V+ VII, VIII – разновидности алмазов по Ю.Л. Орлову (O – октаэдры, OD – переходные формы, P – ламинарные ромбододекаэдры, TO – сумма типично округлых алмазов, K – кубы, б/т – осколки, Янусы – янусы).

Это указывает на вариации условий образования алмазов в пределах Омонос-Укукитского поля, при одном из наиболее высоких среди кимберлитовых тел СП суммарном содержании кристаллов октаэдрического и переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов (58,5-67,3 %), сложенных в основном тригональными слоями, являющимися, несомненно, формами роста. Это требует выяснения причин невысокой алмазоносности с позиций 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 габитуса, преимущественно (47,9 %) октаэдрами. Последние, в отличие от богатых кимберлитовых тел МБАР, представлены шпинелевыми двойниками, часто в комбинации со сростками, с коррозией. В целом спектр типоморфных особенностей алмазов Ан. 21/79 не имеет аналогов на СП, при их близости по высокому содержанию двойников и сростков октаэдров к микроалмазам отдельных кимберлитовых тел (30 лет Айхала, трубки имени Бобкова и Щукина) с убогой алмазоносностью Алакит-Мархинского поля. 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 додекаэдров с шагренью и полосами пластической деформации и полном отсутствии типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа. Преобладает зелёная фотолюминесценция и ультраосновная ассоциация твёрдых включений и резкое преобладание безазотных алмазов типа II и промежуточного типа. Кимберлитовые тела с убогой алмазоносностью *Куранахского поля* (трубки Университетская и Комарова) 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. Преобладают индивиды с занозистой штриховкой. Содержание типичных округлых алмазов низкое (3,7-20,7 %), половину из них составляют додекаэдрониды с шагренью и полосами пластической деформации.

По своим типоморфным особенностям алмазов трубка Дьянга, сопряженная с жилой-79 верхнемезозойского возраста, не имеет аналогов среди кимберлитовых тел СП. Основными из них являются: исключительно эклогитовый парагенезис твердых включений, резкое преобладание додекаэдронидов с шагренью и полосами пластической деформации I разновидности, часто затронутых более поздними процессами травления (каверны), приведших к образованию псевдооктаэдров травления, при практически полном отсутствии двойников и сростков. Другой особенностью алмазов является преобладание камней с лилово-коричневой окраской пониженной прозрачности, кристаллов с желтой и зеленой фотолюминесценцией и с низким содержанием примесного азота в форме А-центра. Алмазы имеют низкую природную степень сохранности (целостность кристаллов) вследствие эпигенетических процессов кавернообразования. Комплекс типоморфных особенностей алмазов трубки Дьянга свидетельствует о ее формировании в условиях повышенной фугитивности кислорода. Следует отметить, что по особенностям химического состава включения гранатов пироп-альмандинового состава в трубке Дьянга не имеют аналогов среди похожих включений в алмазах других кимберлитовых тел СП. Они характеризуются низкими колебаниями состава, при пониженной хромистости, железистости и кальциевости. Следует отметить, что гранаты аналогичного состава со средними значениями $C_2O_3 - 0,31\%$, $FeO - 12,57\%$, $CaO - 5,17\%$ составляют в трубке Дьянга 20% от общего количества всех гранатов. Аналогичные гранаты являются парагенетическими минералами-спутниками алмазов трубки Дьянга, что свидетельствует о своеобразии ее генезиса. С исключительно эклогитовым генезисом алмазов трубки Дьянга хорошо коррелирует высокое (3,3%) содержание ярко-желтых ромбододекаэдров II разновидности [5-9].

В пределах *Лучаканского кимберлитового поля* резко отличаются типоморфные особенности алмазов северного и южного кустов. Для северного куста (трубки Лыхчан, Дама, Поздня и Ан-79а) характерно резкое 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 аномально высокое для СП содержание бесцветных кубоидов I разновидности (около 1/4) и своеобразных молочно-белых кубоидов IV разновидности (свыше 1/4) с лёгким ($\delta^{13}C = -17-20\text{‰}$) 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.

Проведенными исследованиями показано, что внедрение в практику прогнозно-поисковых работ современных физико-химических методик изучения вещественного состава магматических и осадочных пород существенно эффективнее 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 индикаторные минералы-спутники (оранжевые гранаты пироп-альмандинового состава и

омфацитовые клинопироксены) составляют не менее 20 % от общего веса тяжелой фракции. Второй блок с эклогитовым субстратом верхней мантии, по предварительным данным, 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 ЛАСП (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 ЦССП, 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 ЦССП, что свидетельствует о высокой вероятности обнаружения в пределах центральной части ЛАСП 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 ЛАСП отсутствуют типоморфные для разновозрастных россыпей от позднетриасового 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., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 1998. Т. 361. № 3. – С. 366-369.
2. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.М. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009. Т. 138. № 2. – С. 1-13.
3. Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Т. Особенности минерации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ. 2004. – 172 с.
4. Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Чёрный С.Д. Стратегия ведения и результаты алмазопроисковых работ // Горный вестник. 1997. № 3. – С. 53-57.
5. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Сравнительные особенности алмазов из коренных источников с высокой плотностью расположения кимберлитовых тел // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2023. 65 (1). – С. 28-42.
6. Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. 1987. № 10. – С. 66-72.

7. Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдястых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1996. № 1. – С. 53-61.
8. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Зинчук Н.Н. Эпохи мощного корообразования в истории Земли. – Воронеж: ВГУ. – 1999. – 102 с.
9. Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. 1987. Т. 296. № 5. – С. 1228-1233.

Самородное золото первичных и окисленных руд Чагоянского золото-полиметаллического месторождения (Верхнее Приамурье)

Мельников А.В., Воропаева Е.Н.

Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск, Россия,

Melnikov_Anton1972@mail.ru; levorglav@mail.ru

Аннотация. На территории Верхнего Приамурья широко развиты коры выветривания и зоны окисления над золоторудными месторождениями и проявлениями, что значительно затрудняет поиски первичных золотых руд. Исследован состав коры выветривания и зоны окисления Чагоянского золото-полиметаллического месторождения. Определен петрографический и минеральный состав руд, метасоматитов и рудных минералов зоны окисления месторождения. Проведено изучение выделенного самородного золота как в первичных, так и в окисленных рудах месторождения.

Ключевые слова: золото-полиметаллические руды, кора выветривания, зона окисления, самородное золото.

Native gold of primary and oxidized ores of the Chagoyansk gold-polymetallic deposit (Upper Amur region)

Melnikov A.V., Voropaeva E.N.

Institute of Geology and Nature Management FEB RAS, Blagoveshchensk, Russia,

Melnikov_Anton1972@mail.ru; levorglav@mail.ru

Abstract. In the Upper Amur region, weathering crust and oxidation zones over gold ore deposits and manifestations are widely developed, which greatly complicates the search for primary gold ores. The composition of the weathering crust and the oxidation zone of the Chagoyansk gold-polymetallic deposit was studied. Petrographic and mineral composition of ores, metasomatites and ore minerals of the oxidation zone of the deposit was determined. The isolated native gold was studied in both primary and oxidized ores of the deposit.

Keywords: gold-polymetallic ores, weathering crust, oxidation zone, native gold.

Чагоянское золото-полиметаллическое месторождение расположено на левобережье р. Зеи в пределах Чагоян-Джурканского рудного поля Сиваглинского золотоносного узла, приуроченного к Чагоянскому останцу кровли палеозойских терригенно-карбонатных образований среди мезозойских и палеозойских гранитоидов Мамынского выступа Буреинского кристаллического массива (рисунок 1).

Поисково-оценочные работы на месторождении проводились в 1959-1963 (Ю.А. Софронов и др., 1960ф; А.М. Винтер и др., 1961, 1962ф; Г.Т. Дятел, 1964ф), 1966-1969 (Р.А. Антипина и др., 1967, 1969, 1970; Г.В. Чупраков и др., 1968), 1982-1984 (А.В. Ложников и др., 1985), 1998-1999 (С.В. Соколов и др., 2000), 2004-2007 (Е.В. Дмитренко и др., 2007, 2009) гг.

Рудное поле приурочено к обнажающимся из под чехла рыхлых кайнозойских отложений Ушмынской впадины блоку венд-кембрийских карбонатных и силурийских песчаниково-алевролитовых отложений, в котором широко развиты надвиговые структуры (А.В. Ложников и др., 1985ф). Венд-кембрийская карбонатная толща сложена светлыми и темными известняками и доломитами, среди которых встречаются пласты и линзы кремней, мраморизованных известняков, алевролитов и известковистых песчаников. Силурийская терригенная толща сложена мелко-, средне- и крупнозернистыми песчаниками с глинисто-серицитовым цементом, а также пластами известковистых песчаников. В рудном поле широко распространены штоки и дайки диоритов, кварцевых диоритов, диорит-порфиров, диоритовых порфиров мелового возраста. Их породы во многих случаях окварцованы, турмалинизированы, серицитизированы, сульфидизированы, т.е. они являются дорудными.

Золото-серебро-полиметаллическое оруденение приурочено к надвиговой зоне, локализуясь преимущественно в песчаниковой толще автохтона и в меньшей мере – в карбонатной толще аллохтона. На месторождении вскрыты 3 рудные залежи общей протяженностью 1400 м, шириной по падению 800 м, мощностью 10-50 м, параллельные

контактам продуктивной пачки. Залежи вытянуты в северо-западном направлении с пологим (20-40°) падением на юго-запад.

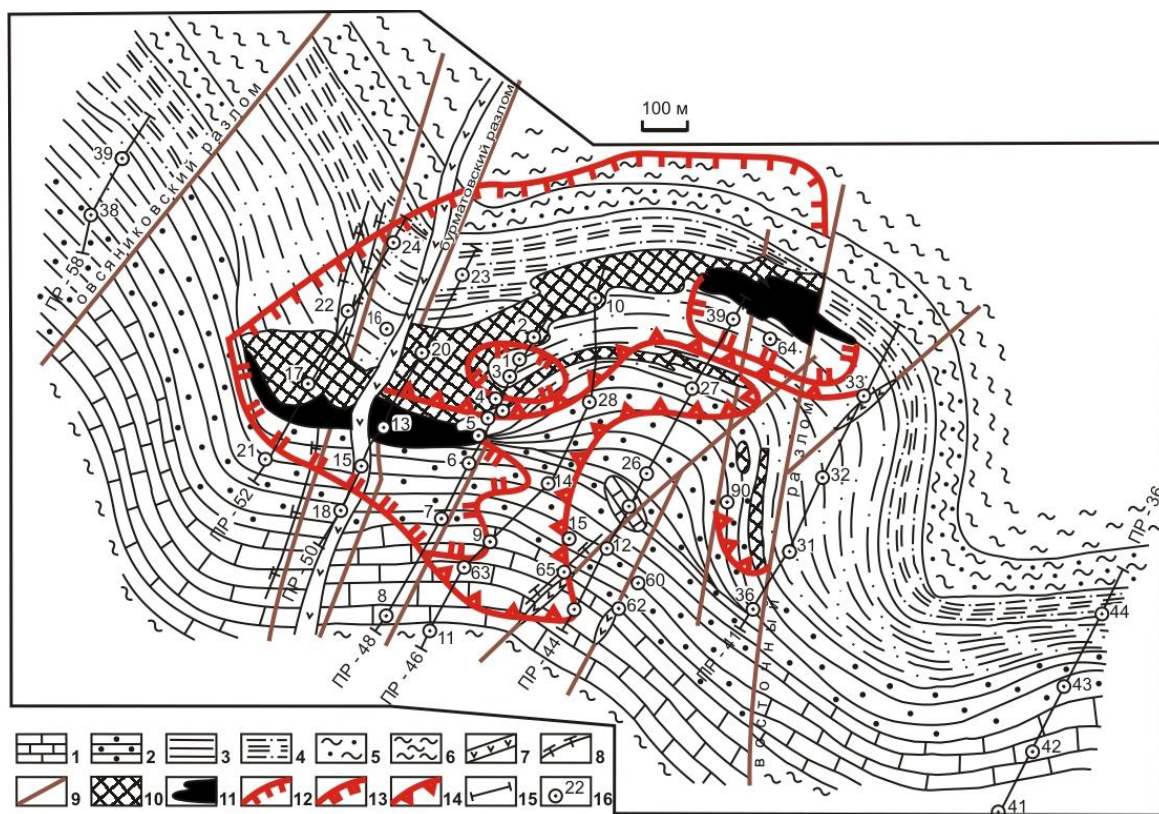


Рисунок 1. Чагойанское золото-полиметаллическое месторождение.

Золото-полиметаллические руды преимущественно вкрапленные, прожилково-вкрапленные (рисунок 2 А), реже массивные и штокверковые (рисунок 2 Б). Контуры рудных тел нечеткие и выделяются лишь по результатам анализов.



А



Б

Рисунок 2. Золото-полиметаллические руды

В рудах широко распространены пирит, пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, арсенопирит, блеклая руда, киноварь, антимонит, кварц, кальцит, турмалин, мусковит, серицит, хлорит. Количество сульфидов достигает 15%. Кроме того, установлены гранат, пироксен, эпидот, серпентин. Содержание в первичных рудах Pb составляет 1.09-2.52% (среднее 2.0%), Zn – 0.37-3.4% (среднее 1.97%), Ag - 20-3000 г/т (среднее 50 г/т), Cd – 0.05-1%, Au – до 23.4 г/т (среднее 1.75 г/т). Выявлено несколько комплексных первичных геохимических ореолов Au – 0.01-0.6 г/т, Pb, Zn, Cu и Ag. Золотоносность связывается с поздней гидротермальной деятельностью, выраженной в образовании зон окварцевания и кварц-турмалиновых жил в терригенно-осадочных породах.

Самородное золото первичных руд – тонкие и мелкие зерна размером до 0.1 мм; они расщеплены в ранних сульфидах, локализованы на участках замещения пирита и пирротина арсенопиритом, входят в состав кварц-карбонат-серицит-турмалиновых жилков. Золото также образует частые скопления на стыке крупных гнезд ранних сульфидов с поздними прожилками. Преобладающие формы золота – мелкие и пылевидные знаки комковидной и ячеистой формы (рисунок 3), округлые – изометричные зерна и кристаллы пентагондодекаэдрической, кубической и октаэдрической огранки.



Рисунок 3. Преобладающие формы золота.

Отмечаются многочисленные сростки Au с кварцем, пиритом и галенитом (рисунок 4). Цвет первичного золота ярко-желтый, с красноватым и розоватым оттенком, проба 900-950. В краевых частях золотин встречаются каймы с содержанием золота 75-80%, Ag – до 25%, Hg – до 0.2%. Фазовый состав Au: тонкодисперсное в турмалине – 50%, в сростках с сульфидами и нерудными минералами – 30%; тонкодисперсное в пирите и пирротине – 9%, то же в пирротине – 5%, свободное Au – 5%.

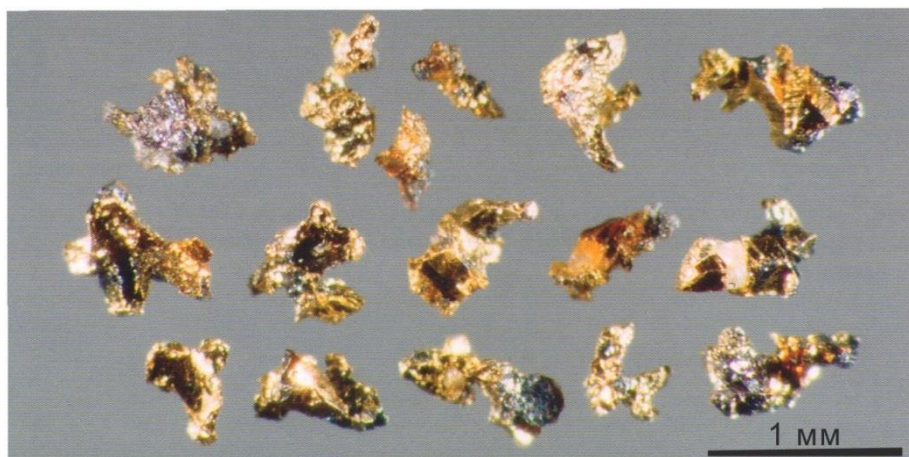


Рисунок 4. Сростки Au с кварцем, пиритом и галенитом.

Зона окисления (кора выветривания) палеогенового возраста, имеющая промышленное значение прослежена над всеми рудными телами на протяжении 1800 м. Глубина распространения зоны окисления крайне неравномерна – от 3-35 м до 140 м (средняя мощность 2.5-47 м). Она представлена тремя зонами: верхняя – глинистая, средняя – щебнисто-глинистая и нижняя – щебнистая с подчиненной долей глинистых минералов и обломками оруденелых пород. Пестрые глины верхней зоны, развитые в виде провалов, линз и карманов в приповерхностной части коры выветривания, имеют преимущественно каолинитовый (50-60%) состав с примесью смешанно-слоистых минералов (до 10-20%) и монтмориллонита (от 10-20 до 40%). Наблюдаются реликтовые структуры исходных пород. Структурные глины каолинит-гидрослюдистого и гидрослюдисто-каолинитового состава средней части разреза содержит примесь монтмориллонита и кремнисто-гётитовые прожилки. Количество каолинита от 10-15 до 25-40%, гидрослюд 20-50%. Обломочный материал представлен лимонитизированными песчаниками и алевролитами, выщелоченными доломитизированными известняками и кварцитоподобными породами. Слабо

каолинизированные щелнисто-гидрослюдистые образования нижней зоны имеют хорошо сохранившуюся структуру исходных пород. Значительная доля гидрогетитовых и гидрогоматитовых скоплений, часты обломки, линзовидные обособления и пропластки известняков, песчаников, кремней и сланцев. Обильны гидроокислы Mn.

Содержания Au в коре выветривания достигают 80 г/т, редко более. Наиболее часто встречающиеся значения 1.2-10.5 г/т, среднее – 2.75 г/т. Рудные столбы (Au 30-80 г/т) приурочены к пересечениям разломов СВ и субширотного направлений. Отмечаются высокие содержания As – до 1.38%, Ag – до 10000 г/т. Содержания Pb и Zn в сумме достигают 25%. По содержанию золота выделяются бедные (менее 1 г/т) и богатые руды. Бедные руды по данным технологических исследований относятся к окисленным рудам золото-полиметаллического убогосульфидного типа с содержанием в среднем Au – 0.7 г/т, Zn – 1.75%, Pb – 0.95%, Ag – 20 г/т. Основные породообразующие минералы – гидрослюды, смешаннослойные образования, кварц. Породы часто дезинтегрированные до сыпучих, землистых масс охристо-желтого до темно-бурого, черного цвета, железисто-глинистого состава. Нередко породы имеют брекчиевидный облик с обломками (6-20 мм) обохренных окварцованных пористых пород – слюдисто-кварцевых метасоматитов по песчаникам и алевролитам. Породы зоны окисления часто сохраняют структурный рисунок первичных пород и руд (прожилково-вкрапленный, вкрапленный, брекчиевидный). Иногда в них отмечаются натечные формы гетита. Рудные минералы (пирит, галенит, сфалерит, пирротин, арсениопирит) замещены вторичными минералами и иногда сохраняются в виде реликтов в железисто-глинистой церуссит-лимонитовой массе, нередко цементирующей обломки окисленных руд. Все породы зоны окисления дезинтегрированные, переходящие в алеврито-песчано-дресвяный материал. Гидроокислы железа придают породам охристо-бурую, желтую, темно-бурую окраску, а вторичные минералы марганца – черную, образуют налеты, колломорфные формы, сажистые массы. Богатые золотом породы зоны окисления в результате технологических исследований отнесены к окисленным рудам золото-серебряно-кварцевого убогосульфидного типа со средними содержаниями Au – 2.75 г/т, Ag – 70 г/т, Zn – 2.5%, Pb – 1.75%. Сложены они преимущественно кварцем голубовато-серого цвета, насыщенного порами и пустотами до облика «сухарей» с примесью глинистого материала и гидроксидов железа. Текстура пород неоднородная, в основном кавернозная, участками пятнистая, неяснополосчатая. Цвет пород меняется от светло-серого до темно-бурого, преобладают светлые тона. Гидроокислы Fe развиваются по трещинам, выполняют поры, образуют землистые выделения. Реже отмечаются гидроксиды Mn черного цвета в виде стекловатых корочек и сажистых масс. Основная масса пород состоит из разнозернистого кварцевого агрегата и тонкочешуйчатой гидрослюды. Размеры зерен кварца от 0.02 до 0.2 мм, выделяются аморфные скрытокристаллические выделения кремнезема совместно с гидроокислами железа. Богатая руда четко фиксируется в зоне окисления (более светлые и крепкие породы), прослеживается визуально, имеет вид «маркера». Богатые руды прослежены до 300-500 м по простирацию, с изменением мощности от 5 до 10 м и содержанием золота от 10 до 80 г/т. Изучение богатых руд по скважине 501 в интервале 5-12 м показало присутствие в рудах обломочного материала (5-15 мм) и рыхлого тонкообломочного оглиненного материала (менее 1 мм). Au распределено крайне неравномерно, большее его количество (76%) обнаружено в тонкой части, по составу преимущественно полевошпатовой (65-69%), обломочная часть представлена кварцем. Содержание Au во фракции – 1 мм составило 75 г/т, Ag – 1200 г/т, Zn – 3.75%, Pb – 2.28%. В обломочной части содержание Au – 15.5 г/т, Ag – 80.3 г/т, Zn – 2.27%, Pb – 1.55%. Серебросодержащие минералы в руде были обнаружены минералогическим анализом в виде единичных зерен акантита и аргентита.

Самородное Au зоне окисления подразделяется на 3 формы его нахождения: 1) самородная, 2) тонкодисперсная в продуктах окисления сульфидов и магнетита, 3) сорбированная глинистыми частицами. Преобладает Au пылевидное до 50 мкм, очень мелкое – до 0.1 мм и мелкое – 0.1-0.5 мм. Основная масса Au в классе крупности 0.1-0.25 мм.

Проба Au – 950-999. Для Au характерны идиоморфные и интерстициальные зерна (рисунок 5), кристаллы и их сростки. Преобладают октаэдры Au с ровной и гладкой поверхностью. В зоне интенсивного дробления и милонитизации нередко мелкие кристаллы и сростки бипирамидальной формы, тонкие тригональные пластинки с блестящими гранями, проволоочные, волосовидные, булавообразные выделения. Отмечаются корродированные пластинки Au с гексагональным поперечным сечением. Встречаются частицы очень мелкого Au в виде лепёшек, палочек, волосков, проволочек и амёбообразных выделений. Достаточно широко распространены дендритовидные обособления изометричных и удлинённых корродированных кристаллов Au размером до 0.3x0.5 мм. Значительная часть Au покрыта плёнками гидроокислов Fe и Mn. Фазовый состав Au: в сростках с сульфидами и породой – 73%, свободное Au – 11%, тонкодисперсное в нерудных минералах – 9%, в плёнке кислоторастворимых минералов – 5%, тонкое в окисленных галените и сфалерите – 2%.

Формирование месторождения по материалам исследований И.Г. Хельвас (1964ф) и А.Я. Сандомирского и др. (1977ф), происходило в несколько стадий, но основная масса полиметаллов (галенита и сфалерита) отложилась в заключительную золото-полиметаллическую стадию. При этом установлена преимущественная концентрация галенита в верхних частях рудных тел, а сфалерита, халькопирита и пирротина – в нижних. Рудным телам сопутствуют первичные ореолы Pb, Zn, Mo, Sn, Cu, Cd, Ag, Ni. При этом масштабы ореолов в 10-15 раз превышают мощность рудных тел. По величинам линейных продуктивностей химических элементов в первичных ореолах Чагоянское месторождение рассматривается как среднеэродированное.



Рисунок 5. Для Au характерны идиоморфные и интерстициальные зерна кристаллы и их сростки.

Судя по минеральным ассоциациям, Чагоянское месторождение представляет собой крайний (джаспероидный) член березит(порфирово)-скарново-джаспероидного ряда формаций. Такие ряды установлены в Лебедином рудном поле Центрального Алдана, в Ольховско-Чибижекском рудном поле в Восточных Саянах, в Джилау-Торор-Мосрифском поле в западном Таджикистане (А.В. Мельников, 2000ф).

ИК-спектры МНПВО халцедона

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

Аннотация. Изложен опыт выявления отличий халцедона вулканитов и халцедоновидного кварца типичного месторождения малоглубинной золото-серебряной формации методом МНПВО в ИК-области спектра. Основные различия заключаются в том, что на спектре халцедона вулканического происхождения в области $475\text{-}538\text{ см}^{-1}$ присутствует один пик на частоте 475 см^{-1} , а на спектре халцедоновидного кварца месторождения малоглубинной золото-серебряной формации в этой области спектра два острых пика на частотах 538 см^{-1} и $490\text{-}495\text{ см}^{-1}$.

Ключевые слова: жильный кварц, α -кварц, халцедон, многократное нарушенное полное внутреннее отражение, вулкан, малоглубинные золото-серебряные формации.

IR – spectra of MFTIR of chalcedony

Mironova E.V., Yurgenson G.A.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia
mironova20-11@mail.ru

Abstract. The experience of identifying differences between volcanic chalcedony and chalcedony-like quartz from a typical deposit of a shallow gold-silver formation by the method of MFTIR in the infrared region of the spectra. The main differences are that the spectrum of chalcedony of volcanic origin in the region of $475\text{-}538\text{ cm}^{-1}$ has one peak at a frequency of 475 cm^{-1} , and on the spectrum of chalcedonic quartz of the shallow gold-silver formation deposit in this region of the spectrum there are two sharp peaks at frequencies of 538 cm^{-1} and $490\text{-}495\text{ cm}^{-1}$.

Keywords: vein quartz, α -quartz, chalcedony, multiple frustrated total internal reflection, volcano, shallow gold-silver formations.

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].

Получаемый спектр МНПВО очень похож на обычный ИК-спектр поглощения, присущий данным образцам кварца. Некоторое различие между ИК-спектрами и спектрами МНПВО заключается лишь в небольшом сдвиге максимумов полос поглощения [3, 4]. Ни одно из этих различий не создаёт серьёзных препятствий при сравнении обычных ИК-спектров поглощения со спектрами МНПВО [3].

Ранее методом ИК-спектров МНПВО выявлены четкие связи между параметрами спектров и свойствами жильного кварца: степенью СКС и содержанием воды. Связь между интенсивностью полос поглощения на ИК-спектрах МНПВО прямая с содержанием воды и обратная с величинами степени совершенства кристаллического строения жильного кварца [5].

В настоящей работе методом ИК-спектров МНПВО изучили образцы халцедонов вулканических сооружений двух месторождений, и дали их сравнение со спектрами, полученными тем же методом, образцов близлежащего к поверхности халцедоновидного жильного кварца малоглубинного золото-серебряно-кварцевого Балецкого месторождения.

Материал и метод исследования

Данная работа выполнена на образцах халцедона и халцедоновидного кварца, взятых из коллекции большеобъемных выборок, изученных одним из авторов в 1980-1990-х в лаборатории минералогии ЗабНИИ МГ СССР (таблица 1). Образцы халцедона относятся к типичным продуктам гидротермальных растворов, функционирующих на заключительных стадиях извержения вулканов. Эти халцедоны формируются в полостях газовых пузырей пузырчатых лав. Они происходят из палеовулканов юрского возраста в Забайкалье.

Характеристики образцов халцедона и халцедоновидного кварца, исследованных методом ИК-МНПВО

Номер образца	Месторождение	Позиция в вертикальном разрезе	Структура
<i>Халцедон вулканических сооружений</i>			
101 ДНД	Вулкан Дунда-Ага	Близ поверхностный. Миндалины в 90 м от вершины палеовулкана	Желтовато-серый халцедон
102 ДНД	То же	Близ поверхностный. Миндалины в 50 м от вершины палеовулкана	Серый халцедон
101 ГОР (1)	Вулкан Куку-Хадан	Близ поверхностный. Миндалины в кровле вулканитов	Желтовато-серый халцедон
101 ГОР (2)	То же	Близ поверхностный. Миндалины в кровле вулканитов	То же
<i>Халцедоновидный жильный кварц</i>			
9/14	Балейское	Дно Северного карьера	Халцедоновидный кварц
29/14	То же	Средний уступ Северного карьера. Приподнятый блок	То же

Образцы халцедоновидного кварца являются продуктами функционирования постмагматических рудоносных растворов, формирующих рудоносные жилы. В данном случае использованы образцы золотоносного кварца из жил, в карьере Балейского золото-серебряного месторождения в Забайкалье.

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 $450-4000\text{ см}^{-1}$ при комнатной температуре в лаборатории Академической кафедры химии Забайкальского государственного университета Д.А. Никитиным. Скорость съемки $2\text{ см}^{-1}/\text{сек}$.

Результаты исследования и обсуждение

Все ИК-спектры МНПВО исследованных образцов обнаруживают спектр α -кварца. На рисунке 1 представлены типичные ИК-спектры МНПВО исследованных образцов халцедона вулканического происхождения и халцедоновидного жильного кварца. Спектры каждой группы образцов расположены по уменьшению интенсивностей основных полос пропускания.

По местоположению основных полос пропускания спектры халцедонов схожи. Однако, при сравнительном анализе характеристик полос пропускания существенно различаются численные значения интенсивностей полос пропускания, а также присутствуют различия облика спектральных линий в некоторых областях спектра (рисунок 1, таблица 2).

В таблице 2 образцы халцедонов и халцедоновидного кварца расположены в порядке убывания интенсивностей основных полос поглощения.

Характерный для типичного ИК-спектра α -кварца облик создают ярко выраженные полосы поглощения (рисунок 1, таблица 2). На ИК-спектрах МНПВО всех изученных образцов выявлены полосы поглощения в областях частот:

- 1110 и 1183 см^{-1} , вызванные валентными колебаниями O-Si-O, дублет,
- 780 и 800 см^{-1} , колебания связанных SiO_4 -тетраэдров, дублет,
- 690 , 538 , 475 , 420 и 400 см^{-1} , вызванные деформационными колебаниями групп O-Si-O.

По литературным данным эти области поглощения характерны для наиболее распространенного каркасного силиката – кварца и других модификаций SiO_2 . При этом, именно для α -кварца первые две полосы представляют собой ярко выраженные дублеты [3].

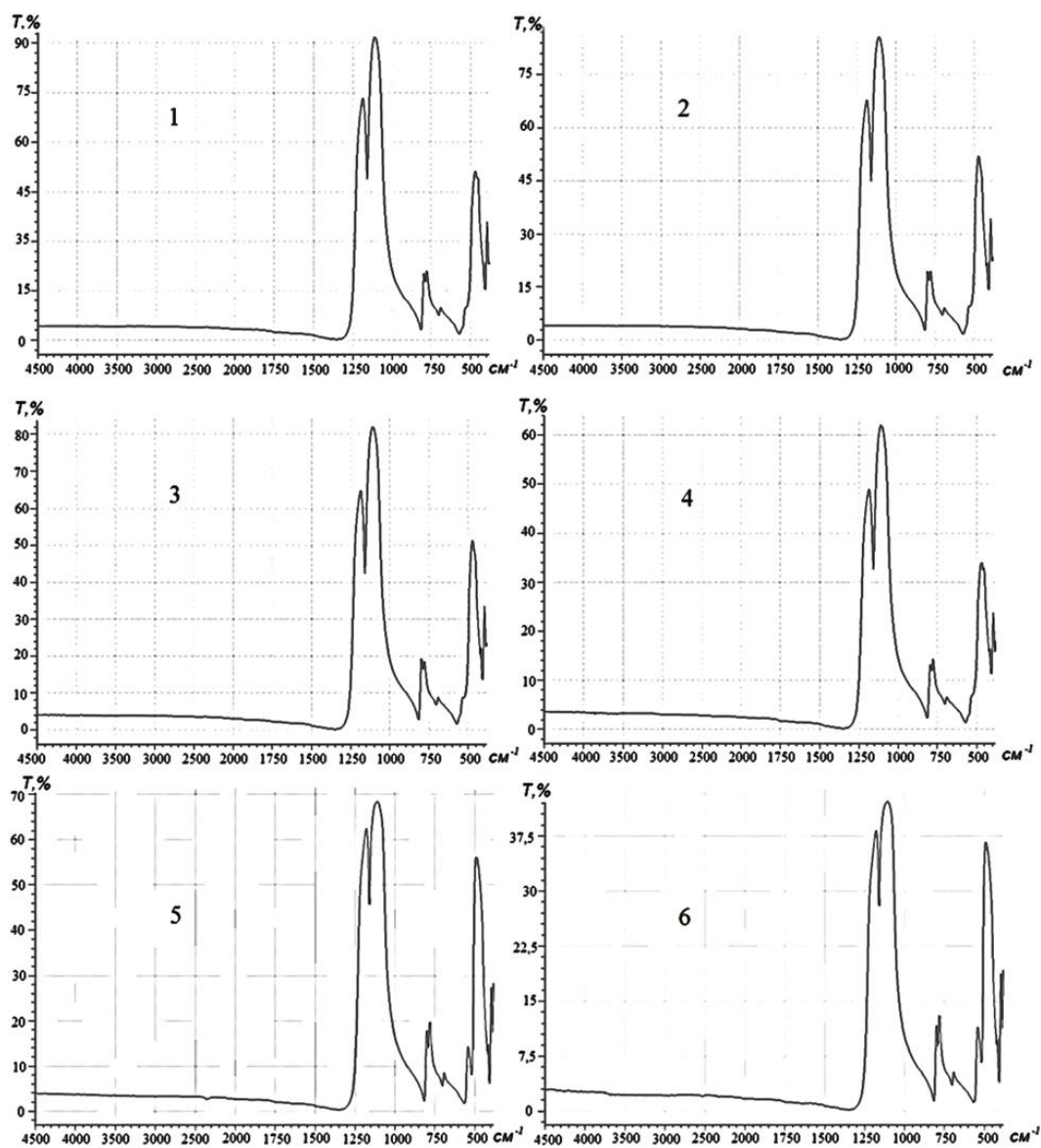


Рисунок 1. Типичные ИК-спектры МНПВО халцедонов:

1 – 101 ДНД, 2 – 101 ТОР (1), 3 – 101 ТОР (2), 4 – 102 ДНД, 5 – 9/14, 6 – 29/14.

Помимо этого, на ИК-спектрах образцов халцедона с самыми низкими интенсивностями полос α -кварца 101 ТОР (2 анш.) и 102 (ДНД) проявлены «дополнительные» полосы поглощения:

- 665 см^{-1} (валентные колебания Si-O-Al(Si)),
- 610 см^{-1} (деформационные колебания группы O-Si(Al)-O, O-Si-O),
- 550 см^{-1} (деформационные колебания групп Si-O),
- 450 см^{-1} (ионная группа SiO₄).

К тому же, «дополнительные» полосы 550 см^{-1} и 450 см^{-1} присутствуют и на спектре образца халцедона 101 ДНД с самыми интенсивными «основными» полосами поглощения.

Две «дополнительные» полосы присутствуют и на спектрах образцов халцедоновидного жильного кварца: 670 см^{-1} (смещение на 5 см^{-1}) и 610 см^{-1} , проявлены также слабыми волнениями.

На ИК-спектрах МНПВО двух образцов Балейского халцедоновидного жильного кварца наличие и положение полос поглощения идентично, за исключением разницы в 5 см^{-1} одной полосы $495\text{ см}^{-1} / 56\%$ (образец 29/14) и $490\text{ см}^{-1} / 37\%$ (образец 9/14). Существенное различие на спектрах жильного халцедоновидного кварца заключается только в значениях интенсивностей основных полос поглощения: на спектре образца 29/14, отобранного со среднего уступа Северного Карьера, полосы поглощения, в среднем в 1,5 раза интенсивнее.

Сравнение характеристик полос пропускания в ИК-области

Образец	Полосы пропускания (см ⁻¹) и их интенсивности (%)												
	1183	1110	800	780	690	—	—	550	538	475	450	—	400
101 ДНД	$\frac{1183}{73}$	$\frac{1110}{92}$	$\frac{800}{20,8}$	$\frac{780}{21}$	$\frac{690}{10}$	—	—	$\frac{550}{3,8}$	$\frac{538}{\text{плечо}}$	$\frac{475}{51}$	$\frac{450}{49,2}$	—	$\frac{400}{36}$
101 ТОР (1)	$\frac{1183}{67,1}$	$\frac{1110}{82,7}$	$\frac{800}{19,3}$	$\frac{780}{19,3}$	$\frac{690}{6,1}$	—	—	—	$\frac{538}{\text{плечо}}$	$\frac{475}{52}$	—	$\frac{420}{22}$	$\frac{400}{34}$
101 ТОР (2)	$\frac{1183}{64,6}$	$\frac{1110}{82}$	$\frac{800}{19,2}$	$\frac{780}{18,5}$	$\frac{690}{9}$	$\frac{665}{\text{слабое волнение}}$	—	$\frac{550}{\text{слабое волнение}}$	$\frac{538}{\text{плечо}}$	$\frac{475}{51,8}$	—	$\frac{420}{22,2}$	$\frac{400}{33,5}$
102 ДНД	$\frac{1183}{48,3}$	$\frac{1110}{62}$	$\frac{800}{13,2}$	$\frac{780}{14,1}$	$\frac{690}{6,6}$	$\frac{665}{\text{слабое волнение}}$	$\frac{610}{\text{слабое волнение}}$	$\frac{550}{2,5}$	$\frac{538}{\text{плечо}}$	$\frac{475}{34,7}$	$\frac{450}{32,5}$	$\frac{420}{16,5}$	$\frac{400}{24}$
29/14	$\frac{1183}{62,5}$	$\frac{1110}{68,5}$	$\frac{800}{18}$	$\frac{780}{20}$	$\frac{690}{8,5}$	$\frac{670}{\text{слабое волнение}}$	$\frac{610}{\text{оч. слабое волнение}}$		$\frac{538}{14,5}$	$\frac{495}{56}$		$\frac{430}{14,6}$	$\frac{400}{27,5}$
9/14	$\frac{1183}{38,5}$	$\frac{1110}{41}$	$\frac{800}{11}$	$\frac{780}{13}$	$\frac{690}{5,3}$	$\frac{670}{\text{слабое волнение}}$	$\frac{610}{\text{оч. слабое волнение}}$		$\frac{538}{12}$	$\frac{490}{37}$		$\frac{430}{10}$	$\frac{400}{18,8}$

Примечание: в числителе – частоты полос пропускания, в знаменателе – их интенсивности.

В отличие от халцедонов, на ИК-спектрах халцедоновидного жильного кварца некоторые основные полосы смещены в сторону длинных волн: 670 см^{-1} (на 5 см^{-1}), 495 см^{-1} (на 15 и 20 см^{-1}) и 430 см^{-1} (на 10 см^{-1}).

На ИК-спектрах всех образцов интенсивность пика дублета в положении 1110 см^{-1} выше пика при 1183 см^{-1} . В группе халцедона значение разницы между пиками в дублете от 19 до 13,7%; у халцедоновидного жильного кварца – 6 и 2,5%. Установить связь между разницей интенсивностей пиков дублета и изменением степени их интенсивностей не удалось. Отметим, что значение разницы интенсивностей между пиками этого дублета у группы халцедонов выше и на спектре выражено ярче (рисунок 1).

Важное отличие в спектральной картине спектров халцедонов вулканических сооружений и халцедоновидного жильного кварца заключается в четком расщеплении одиночного пика на частоте 475 см^{-1} у халцедонов, на 2 пика: 538 см^{-1} и $490\text{--}495\text{ см}^{-1}$ у халцедоновидного жильного кварца (рисунок 1). У образцов халцедонов полоса поглощения при 538 см^{-1} отмечена плечом при интенсивном пике 475 см^{-1} . У образцов халцедоновидного жильного кварца при 538 см^{-1} – четкий, острый пик (14,5 и 12%) и второй интенсивный пик сдвинут в сторону длинных волн на $15\text{--}20\text{ см}^{-1}$ ($490, 495\text{ см}^{-1}$), расстояние между пиками расширяется. Это отличие свидетельствует, вероятно о структурной неупорядоченности халцедоновидного жильного кварца.

Выводы

1) Получены новые данные о спектрах МНПВО халцедона вулкаников и халцедоновидного кварца типичного месторождения малоглубинной золото-серебряной формации.

2) Основные различия заключаются в том, что на спектре халцедона вулканического происхождения в области $475\text{--}538\text{ см}^{-1}$ присутствует один пик на частоте 475 см^{-1} , а на спектре халцедоновидного кварца месторождения малоглубинной золото-серебряной формации в этой области спектра два острых пика на частотах 538 см^{-1} и $490\text{--}495\text{ см}^{-1}$.

3) Дополнительным критерием принадлежности халцедона или халцедоновидного кварца к определенным видам месторождений, может служить разница между пиками в дублете 1183 и 1110 см^{-1} . На спектре халцедона вулканического происхождения значение разницы между пиками в дублете выше 10 (на изученных нами спектрах от 19 до 13,7%), на спектрах халцедоновидного жильного кварца – ниже 10 (от 6 до 2,5%).

4) Данные о различиях ИК-спектров МНПВО в случае подтверждения полученных выводов на статистически достаточных выборках могут быть использованы для оценки принадлежности халцедоновидного кварца к месторождению малоглубинной золото-серебряной формации.

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. Болдырев А.И. Инфракрасные спектры минералов. – Москва: Недра, 1976.
4. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры опалов // Доклад. АН СССР. 1979. Том 246. № 3. – С. 606-609.
5. Юргенсон Г.А., Лимберова В.В., Миронова Е.В. Строение и рудноформационная принадлежность жильного кварца на ИК-спектрах методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения // Вестник ЗабГУ. 2012, № 10, С. 36-42.

Золото-полиметаллические руды Назаровского месторождения (Западное Забайкалье)

Мунконов Э.Ч-Д.¹, Дамдинова Л.Б.²

¹Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, Улан-Удэ, 670000, Россия,
munkonove@bk.ru

²Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, ул.Сахьяновой ба, Улан-Удэ, 670000, Россия

Аннотация. Минералогические особенности и физико-химические условия формирования руд Назаровского месторождения.

Ключевые слова: Озернинский рудный узел, Назаровское месторождение, золото-полиметаллические руды, флюидные включения.

Gold-polymetallic ores of the Nazarovsky deposit (Western Transbaikalia)

E.Ch-D.Munkonov¹, L.B.Damdinova²

¹Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, Ulan-Ude, 670000 Russia, munkonove@bk.ru

²Geological Institute N.L. Dobretsov SB RAS, Sakhyanova str. ба, Ulan-Ude, 670000 Russia

Abstract. The mineralogical features and physicochemical conditions of the formation of ores of the large Nazarovskoye deposit of gold-iron-polymetallic ores of the Ozerninsky ore cluster in the Republic of Buryatia are described. Gold-sulfide ores of the Nazarovskoye deposit are composed of pyrite, sphalerite, galena, pyrrhotite, arsenopyrite, chalcopyrite, marcasite, carbonates, quartz, micas, feldspars, etc. Rare minerals include cobaltite, native bismuth, ouraite, schapbakhite, tennantite, electrum, and gold. The temperature range of FI homogenization corresponds to ~360°C -245°C.

Keywords: Ozerninsky ore cluster, Nazarovskoye deposit, gold-polymetallic ores, fluid inclusions.

Свинцово-цинковые или полиметаллические руды чрезвычайно широко развиты в Забайкалье. Их месторождения на территории Бурятии и Забайкальского края имеют решающее значение для развития горной промышленности России.

Назаровское месторождение – это первый, крупный объект на территории Озернинского рудного узла, в пределах которого в 1975 году было установлено промышленное золотое оруденение. Месторождение было открыто в 1967 г., изучалось разными исследователями: В.Г. Беличенко, Е.И. Ткаченко, В.А. Варламов, С.В. Горбунов, Р.С. Тарасова, Э.Г. Дистанов, Г.Г. Русин, А.И. Бусленко, К.Р. Ковалев и другими [1-5].

Назаровское месторождение расположено на площади Озернинского рудного узла. Приурочено к зоне Назаровского разлома и экзоконтакту массива палеозойских гранодиоритов, прорывающих нижнекембрийские вулканогенно-осадочные образования.

Назаровское месторождение – это железо-цинковое месторождение с золотом, расположенное в наиболее приподнятом блоке Озернинского останца нижнекембрийских пород, ограниченном разломами. Особенностью этого месторождения является высокое по сравнению с другими месторождениями содержание золота (Ковалев и др., 1992, 2003). На площади блока располагается также скарновое борсодержащее цинково-магнетитовое месторождение Солонго и ряд мелких проявлений сульфидно-железооксидных и железоксидных руд, преобразованных контактово-метасоматическими процессами. К ним относятся Северо-магнетитовое, Юбилейное, Южно-гематитовое и Майское, последние два, возможно, являются продолжением Назаровского месторождения. В геологическом строении рудного поля месторождения принимают участие осадочно-вулканогенные отложения палеозойского и мезозойского возраста, нижняя часть разреза отложений участка сложена мраморизованными известняками с прослоями вулканитов среднего состава. Верхняя часть разреза сложена туфами среднего состава, переслаиваемыми со слоистыми известняками и туффитами. Мощность прослоев от единиц до десятков метров. По разведочным данным почти половина обнаруженных бурением даек долеритов играет роль рудолокализирующих структур.

Вулканогенно-осадочные породы месторождения представлены известняками с прослоями туффитов среднего и основного состава, которые в разной степени подвергнуты

метаморфизму и метасоматозу – скарнированию, ороговикованию, альбитизации, окварцеванию, хлоритизации и серицитизации. Рудные тела прослеживаются в разных крыльях разлома, рудоконтролирующей и рудо локализирующей структурой месторождения является зона Назаровского разлома субсогласного с напластованием вмещающих пород.

На месторождении установлено 5 рудных тел линзо- и пластообразной формы с пережимами, разветвлениями и раздувами. Размеры рудных тел по простиранию изменяются от 300 до 700 м. Выделяют 2 главных типа руд оксидные и сульфидные. Оксидные характеризуются обязательным присутствием гематита, среди них выделяют гематитовые и магнетитовые.

Руды Назаровского месторождения имеют самый разнообразный облик, текстуры руд представлены массивными, вкрапленными, гнездово-вкрапленными, пятнистыми, массивно-полосчатыми, полосчатыми и др. разновидностями.

Рудные минералы образуют прожилково-вкрапленную, вкрапленную, массивную, реже пятнистую и гнездово-вкрапленную текстуры. Прожилково-вкрапленная, вкрапленная и гнездово-вкрапленная руда характеризуется скоплением агрегатов удлиненной, сложной формы, состоящих из пирита, сфалерита, реже пирротина. Массивные руды состоят из равномерных скоплений пирита, пирротина и сфалерита в разных соотношениях.

Минеральный состав золото-сульфидных руд Назаровского месторождения представлен нерудными минералами: карбонатами, кварцем, слюдами, полевыми шпатами и др.; рудными – пиритом, сфалеритом, галенитом, пирротинном, арсенопиритом, халькопиритом, марказитом и др. Более редкими минералами являются кобальтин, самородный висмут, оураит, шапбахит, теннантит, электрум, золото и др.

Содержание сульфидов в рудах – от 40 до 85%. Золотоносность Назаровского месторождения тесно связана с сульфидно-полиметаллическими рудами.

Пирит составляет от 20 до 35-40 об.% от объема рудных минералов. В рудах месторождения он является одним из главных минералов. Пириты представлены кристаллами идиморфного облика треугольной и кубической формы размерами от первых десятков микрон до 2-4 мм, также выражены микроагрегатами гипидиоморфнозернистой структуры, в которых иногда наблюдаются включения ксеноморфных зерен пирротина и халькопирита.

Халькопирит в рудах месторождения распределен крайне неравномерно. Количество изменяется в пределах от 2-3 до 10-12% от объема рудных минералов. Халькопирит в основном слагает зерна и агрегаты неправильной формы, образует ксеноморфные зерна в агрегате жильных минералов, а также мелкие включения и микропрожилки в сфалерите.

Арсенопирит характеризуется крайне неравномерным распределением в рудах месторождения. количество доходит до 10-15% от объема рудных минералов. Арсенопирит встречается в рудах в виде кристаллов идиоморфного облика, кристаллы имеют кубический, ромбический облик, от короткостолбчатых до шестоватых. Представлен идиоморфными метазернами, размер которых иногда достигает 1-2 мм, чаще 0,05-0,2 мм. Обычно зерна имеют однородное внутренне строение, но в некоторых наблюдаются включения зерен пирротина, сфалерита и халькопирита.

Сфалерит установлен в значительных количествах. Составляет от 20 до 40-45% от объема рудных минералов. Наблюдается в виде ксеноморфных зерен и микроагрегатов аллотриоморфнозернистой структуры, которая фиксируется в тех случаях, когда по границам зерен сфалерита развивается пирит. Как правило, для зерен сфалерита характерно обилие включений ксеноморфных зерен пирротина и халькопирита размером от 0,01 до 0,05 мм; чаще наблюдается пирротин. Обычно эти включения образуют цепочки, ориентированные по разным направлениям, фиксирующие залеченные трещины спайности в основном сложен сплошной зернистой массой.

Галенит характеризуется крайне неравномерным распределением в рудах. Его количество меняется от единичных зерен до 5-8% от объема рудных минералов. Чаще образует однородные ксеноморфные зерна, иногда содержит включения замещаемых пирротина и халькопирита. Замещает и сечет все вышеописанные минералы. Иногда в галените наблюдается включения, либо сростания (<0,1 мм) ксеноморфных зерен самородного

висмута. По химическому составу в галените редко встречаются примеси железа (0,7-3,4 мас. %) и висмута (4,4-5 мас. %), также присутствует примесь серебра в малых количествах (0,8-2,5 мас. %).

Самородный висмут встречается в виде ксеноморфных зерен с максимальным размером 0,03 мм. Выявлено довольно широкое развитие самородного висмута, ассоциирующего с галенитом.

Золоторудная минерализация проявлена в основном в пределах рудоносного горизонта, и промышленные концентрации золота встречаются непосредственно в контурах сульфидных залежей. Самородное золото присутствует в них в виде мельчайших дисперсных выделений. Содержания золота в неокисленных рудах варьируют от 1,8 до 14 г/т. В сульфидных рудах золото образует сложные проволоковидные и дендровидные выделения с преобладающим размером в 30-150 мкм.

Минералы золота в рудах представлены агрегатами электрума-EI и самородного золота-Au. Самородное золото образует дисперсные выделения в пирите, кварце, халькопирите и сфалерите размером не более 0,01 мм. Выделения 0,1-0,2 мм встречаются редко, часто в ассоциации с шестоватыми кристаллами кварца. (Фотографии в обратно рассеянных электронах).

Электрум представлен агрегатами каплевидной, прожилковидной, вытянутой и неправильной формы размерность от 10 до 50 мкм.

На Назаровском месторождении выделяются два основных типа руд: сульфидно-полиметаллические и магнетит-гематитовые. Золотоносность этого участка тесно связана с сульфидно-полиметаллическими рудами, по совокупности наблюдений можно предполагать ее более поздний наложенный характер.

Термобарогеохимическими методами для определения условий формирования и состава рудообразующих растворов были изучены первичные флюидные включения (ФВ) в кварце сульфидных руд. Зерна кварца в основном содержат шлейфы мелких (≤ 5 мкм) вторичных двухфазовых включений. Относительно крупные ($\sim 9-12$ мкм и более) первичные и реже псевдвторичные ФВ на удалении от залеченных трещин встречаются гораздо реже, они имеют двухфазовый состав ($L > V$). Интервал температур гомогенизации ФВ соответствует $\sim 360^\circ\text{C} - 245^\circ\text{C}$. Методом криометрии установлено, что в замороженных растворах этих включений эвтектики плавятся в диапазоне -38 и -36°C , интервал температур плавления льда – $-6.5 - -4.7^\circ\text{C}$, что соответствует общей солености 9.9-7.5 мас.% экв. NaCl и хлоридно-магниевно-калиевому и реже хлоридно-железисто солевому составу.

Работа производилась при поддержке и в рамках реализации проекта РНФ № 22-17-00106.

Библиографический список

1. Гордиенко, И.В., Нефедьев, М.А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. 2015. Т 57. № 2. – С. 114-124.
2. Ковалев, К.Р., Бусленко, А.И. Гидротермально-осадочный рудогенез и полиметаморфизм руд Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье). – Новосибирск: Наука, 1992. – 214 с.
3. Ковалев, К.Р., Байлина, М.В., Акимцев, В.А., Аношин, Г.Н. Стратиформные цинково-колчеданные руды и золоторудная минерализация на Назаровском месторождении (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 10. – С. 963-978.
4. Бусленко А.И. Генетические особенности колчеданно-полиметаллических месторождений Звездное, Ульзутуй, Назаровское Еравнинского рудного района. «Геология, минералогия и пути освоения полиметаллических месторождений Забайкалья и Прибайкалья». – Улан-Удэ, 1985.
5. Шатилова Л.В. Типоморфные признаки самородного золота Озернинского рудно-россыпного узла (Республика Бурятия). Материалы Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований». Москва. ИГЕМ РАН. 2010. – С. 304-307.

Геодинамический режим – ключ к познанию тайн глубинных недр Лугоканского рудного узла (Юго-Восточное Забайкалье)

Салихов В.С.

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

Аннотация. Рассматривается перспективный объект Восточного Забайкалья – Лугоканский узел с геологоструктурных и геодинамических позиций и показаны его высокие ресурсы. Рудный узел, является северо-восточным замыканием Газимурской рудной зоны, где уже действуют крупные подобного геолого-промышленного скарно-порфирового типа рудные месторождения – Быстринское и Култуминское.

Ключевые слова: Забайкалье, Лугоканский рудный узел, скарново-порфировый промышленный тип, рудно-магматическая система, флюидолиты.

The geodynamik regime is the key to understanding the secrets of the deep bowels of the Lugokan ore cluster (southeastern Transbaikalia)

Salikhov V.S.

Transbaikal State University, Chita, Russia

Abstract. The prospective object of Eastern Transbaikalia – the Lugokansky junction is considered from the geological and geodynamic positions and its high resources are shown. The ore cluster is the northeastern closure of the Gazimur ore zone, where there are already large ore deposits of similar geological and industrial skarn-porphyry type – Bystrinskoye and Kultuminskoye.

Keywords: Transbaikalia, Lugokan ore cluster, skarn-porphyry industrial type, ore-magmatic system, fluidolites.

Лугоканский рудный узел площадью около 150 км² в региональном геотектоническом плане является частью Центрально-Азиатского подвижного пояса (ЦАПП) – одной из основных геологических структур Евро-Азии, который сыграл ключевую роль в формировании архитектуры всего Евро-Азиатского континента (этапы магматизма, деформации литосферы, эндогенное оруденение).

Металлогеническая же позиция рудного узла определяется принадлежность её к Газимурской рудной зоне Монголо-Забайкальской металлогенической провинции, которую составляет Будюмкано-Култуминский рудный район. В северо-восточной части этого района выделяется Лугоканский рудный узел (Au, Cu, Ag, Sb, Pb, Zn, Bi), в котором уже установлены три значимые месторождения: Лугоканское, Серебряное, Солонеченское, а также ряд проявлений.

Металлогеническая особенность Лугоканского узла и его специфика представляет интерес с геодинамических условий структурообразования, что является определяющим при формировании продуктивного оруденения и рудоносных структур, а геодинамический режим, динамика и глубинное состояние земных недр, является ключевым в разгадке тайн земных недр [5].

Разрывная тектоника узла отчетливо выражена глубинными главными и второстепенными разломами (рисунок 1), длительно живущими и имеющими взбросо-сдвиговый и сбросовый характер. Одним из таких разломов является Урово-Джалирский, имеющий важнейшее значение для формирования собственно, Лугоканского месторождения, оцененные запасы которого составляют 124 т золота.

Другим глубинным разломом длительного развития и принимающим участие в формировании Лугоканского месторождения является Будюмканский северо-восточного простирания [5], а в узле сочленения с Урово-Джалирским создается зона повышенной эндогенной активности и проявления наиболее продуктивных зон рудно-магматической системы.

В пределах Лугоканского рудного узла проявлены и другие разломы: Сивачинский дуговой, дополняющий эндогенную активность при формировании собственно Лугоканского месторождения, а так же, Аэмканский и Восточно-Аэмканский разломы северо-восточного простирания. Эти разломы представляют собой систему объемную, сложную, зону шириной

до десятка километров сближенных субпараллельных сопряженных разрывов. Такие объемные зоны образуют Солонеченский и Северо-Солонеченский разломы северо-восточного простирания, принимающие участие при формировании месторождений Серебряное (Au, Ag, Cu) и Солонеченское (Sb, Au). В образовании промышленно значимых руд Солонеченского месторождения широко задействованы и надвиговые, и взбросо-надвиговые структуры, контролирующие сурьмяное оруденение, наложенное на золото-сульфидные руды, а стибнит (антимонит) здесь выполняет роль цемента в катаклизированных джаспероидах [3].

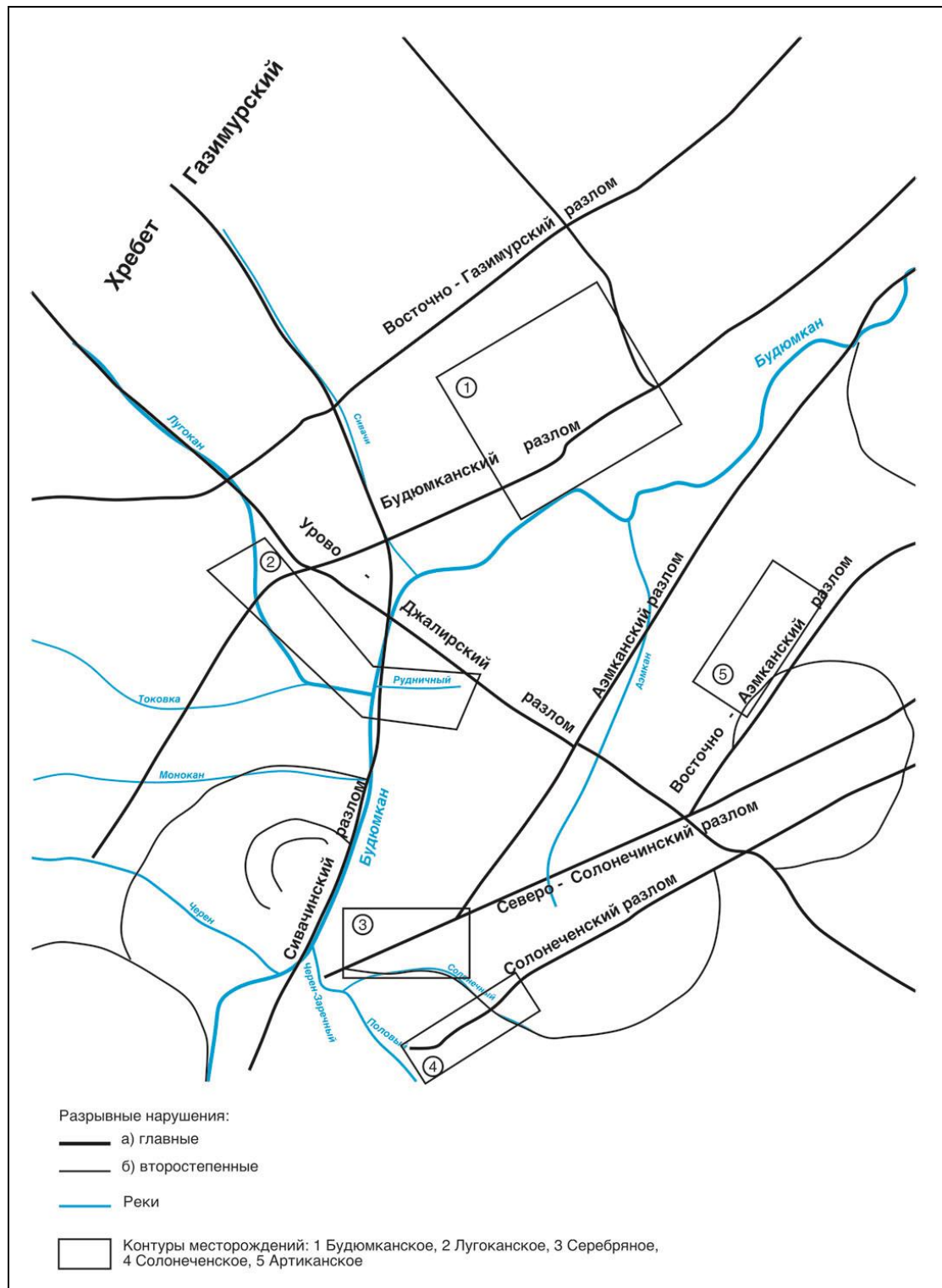


Рисунок 1. Схема разрывной тектоники Лугоканского рудного узла.
 1 – главные глубинные разломы; 2 – второстепенные нарушения.

Другими весьма характерными разрывными нарушениями Лугоканского узла являются овалы и кольцевые, разномасштабные структуры, определяющие узлы эндогенной активности и являющимися наиболее перспективными на продуктивное оруденение. Одной из таких кольцевых структур, как проявление мантийных плюмов следует рассматривать участок расположенный в восточной части исследуемой территории.

Структурно-динамические особенности Лугоканского рудного узла и оценка его перспектив на промышленное оруденение следует начинать с рассмотрения особенностей строения глубинных недр, которая сформировалась здесь Восточно-Забайкальским сводовым поднятием как результат деятельности главного орогенного этапа [2].

Геодинамические особенности формирования Лугоканского рудного узла носят полигенный и полихронный характер, проявившейся при широком участии разномасштабных деформационных режимах в разной степени отразившихся на образовании рудных скоплений. Эти особенности следующие:

1 - глобальная геотектоническая позиция рудного узла определяется его промежуточным положением между Сибирским и Китайским кратонами, некогда единым, "островки" которого в виде докембрийских глыб (докембрийского платформенного основания) сохранились в пределах изучаемой площади;

2 - региональная геотектоническая позиция рудного узла определяется положением его в структуре Центрально-Азиатского подвижного пояса и далее, сформированного на его месте Монголо-Охотской складчатой области в пределах Аргунского террейна как её составной части;

3 - важная роль в накоплении рудной минерализации Лугоканского узла имеет глубинное строение этой территории, которая длительное время развивалась под воздействием мантийного плюма, особенно не вышедших на поверхность [1] и определившего характер существующего здесь рельефа в виде куполообразных поднятий и прогибов (рисунок 2). В связи с этим при проведении поисково-оценочных работ необходимо обстоятельно изучить рельеф поверхности с использованием программ компьютерной обработки космозаэроснимков для выделения узлов повышенной проницаемости земной коры и установлении потенциально рудных дизъюнктивных структур. Такой подход, например, разработан в ПГО "Аэрогеология". Этим подчеркивается, что особенности глубинного строения территории следует начинать и оценивать с изучения рельефа поверхности;

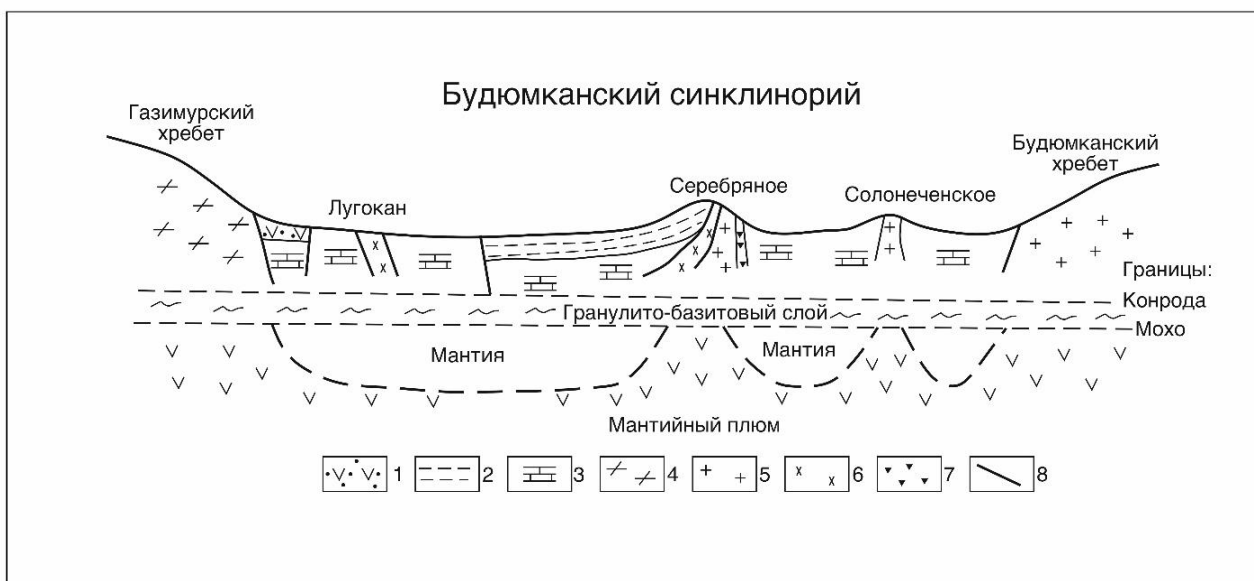


Рисунок 2. Схема глубинного строения лугоканской площади.

1 – терригенные отложения юры; 2 – осадочные отложения девона; 3 – карбонатные толщи быстринской свиты кембрия; 4 – гранитогнейсы кутомарского комплекса; 5 – габбро-гранитоиды ундинского комплекса; 6 – грано-диарит-порфиры шахтаминского комплекса; 7 – эруптивные брекчие; 8 – разломы.

4 - ведущими механизмами деформирования, проявившимися при формировании рудоносных структур изучаемой площади явились структуры, связанные с вертикальной ориентировкой сжимающих усилий (вертикальные перемещения), так и сдвиговые деформации с горизонтальным положением векторов сжимающих усилий. С первыми из них связано образование блокового магматического внедрения (штамповый тип) и формирование кольцевых и взрывных структур. Взрывные структуры сопровождаются образованием эксплозивных (эруптивных) и гидротермальных брекчиевых тел (флюидолиты), широко отмечаемых, например, на Серебряном месторождении, площадь которого составляет 3 км².

С горизонтальными тектоническими силами связаны деформации сдвигового типа, развивающиеся в областях и зонах латерального сжатия (сдвиговые сопряженные разломы, будинажный, надвиговой).

Однако в локальном плане для каждого геодинамического режима в длительном его проявлении характерны частая смена интенсивностей и ориентировок главных нормальных и касательных напряжений и возникновение геологических структур как сжатия, так и растяжения, т.е. отмечаются несколько палеотектонических обстановок в итоговом геодинамическом плане формирования рудоносных структур, а выделение рудоносных структурных парагенезисов – важный этап исследования [4];

5 - будюмканский синклиорий – важнейшая структурно-динамическая единица, ведущая рудовмещающая структура Лугоканского рудного узла. Зародившаяся в раннем палеозое структура сложена миогеосинклинальными морскими карбонатными отложениями быстринской свиты, осложнена системой линейных и брахиформных складок второго порядка и представляет собой северо-восточную часть протяженной Газимурской подвижной зоны, где уже действует Быстринский ГОК и готовится к эксплуатации Култуминское месторождение подобного геолого-промышленного типа (скарново-медно-порфирирового с золотом) оруденения;

6 - будюмканский синклиорий имеет вид удлиненной линзы северо-восточного простирания длиной более 40 км при ширине 10-15 км. Синклиорий с северо-запада по разломным зонам (Восточно-Газимурский разлом) контактирует с антиклинорием Будюмканского хребта. Первый сложен гранито-гнейсами Кутомарского комплекса, второй-габбро-гранодиоритами Ундинского комплекса перми, как проявления мантийного плюма, не вышедших на поверхность (рисунок 2), а геодинамическая модель характеризуется как линеаментно-плюмовая;

7 - геодинамическая обстановка и деформационный режим антиклинориев различен. Для Газимурского более характерен режим сдвиговых линейных разломов сбросового и взбросо-сдвигового типа, а для Будюмканского наряду с типом линейных сдвоенных разломов широко развиты кольцевые (вихревые) структуры разного масштаба с проявлением взрывных структур (образование флюидолитов) и даек разного простирания;

8 - наиболее перспективной Будюмканского синклиория представляет юго-западное замыкание (сужение), где сходятся Аэмканская группа сопряженных разломов и Солонеченская. Кольцевые же разломы (структуры) нередко подчеркиваются геохимическими аномалиями изометричной или овалоподобной формы, помимо выделения в рельефе. Кольцевые структуры как следствие проявлений вихревых (ротационных) движений геологической среды, фиксируются на многих рудоносных площадях не только Забайкалья. Это подчеркивает важность и значение ротационного подхода в решении задач геодинамики, поскольку все движения, которые испытывает Земля отражаются на геологических процессах. Другим геодинамическим режимом, благоприятным для рудообразования является всестороннее сжатие плюс сдвиг;

9 - одним из перспективных центров эндогенной активности и оруденения представляет восточное продолжение структур Серебряного месторождения, где проявлен гидротермально-эксплозивный и кольцевой характер рудоносных и рудовмещающих структур. В связи с этим первоочередными объектами на проведение поисково-оценочных работ следует рассматривать металлогеническую зону северо-восточного простирания,

ограниченную Северо-Солонеченским и Солонеченским разломами, зону их сопряженного развития шириной 1,5-2 км. Локальным структурно-динамическим участком следует оценивать таковой в верховье пади Дорожная, где просматривается весьма перспективная очагово-купольная структура с кольцевыми разломами и субвулканическими образованиями. Другая перспективная очагово-купольная структура и центр эндогенной активности просматривается в верхнем течении реки Правый Аэмкан в восточном продолжении рудного поля Серебряное, где фиксируются дайки шахтаминского комплекса в виде полосы широтного простираения протяженностью 3 км и шириной около 600 м. Здесь же отмечаются малые тела диоритовых порфириров шахтаминского и штоки гранитоидов ундинского комплексов, а так же разные брекчиевые тела, нередко с турмалиновым цементом (данные ООО «Востокгеология»), формирующих диапировую структуру, подчеркиваемую кольцевыми разломами. Примечательно, что эндогенная активность сохраняется и далее образованием приразломной Аэмканской впадины грабенового типа;

10 - лугоканская рудно-магматическая система имеет длительную историю развития от позднего докембрия до мелового времени. Система внутренне неоднородна, но её элементы развиваются согласованно (самоорганизующая целостность). Всплески магматической активности с оруденением проявились в пермское и юрское время, наряду с проявлением тектоники, т.е. устанавливается прямая связь магматизма, тектоники (единое тектоно-магматическое событие) и оруденения. Следует учитывать кусковатость(блоковость) геологической среды (по М.А. Садовскому 1989);

11 - оценивая разную глубину эрозионного среза, металлогеническую и рудную зональность на месторождении Серебряное следует ожидать с глубиной более высокотемпературную ассоциацию золото-халькопирит-арсенопиритовую, проявленную на месторождении Лугокан. На месторождении же Солонеченское, где отмечена близповерхностная низкотемпературная золото-сурьмяная и ртутная минерализация надвигового типа, с глубиной следует ожидать золото-медное, так и Au-Cu-порфировое оруденение (с учетом волнового распределения оруденения по вертикали);

12 - перспективы Будюмканского синклинория на промышленное оруденение подчеркивается его высокой степенью неоднородности, где на сравнительно небольшой площади фиксируются различные геологические объекты от блоковых клиновидных образований докембрия до грабен-синклиналиных образований юрско-мелового времени и разнообразие магматизма;

13 - юго-восточное Забайкалье по обилию, масштабу и значимости минеральных ресурсов является вторым после северного Забайкалья.

Библиографический список

1. Кирдяшкин А.А., Кирдяшкин А. Г. Условия формирования плюмов, не вышедших на поверхность // Геотектоника. 2022. – № 6. – С. 114-124.
2. Менакер Г.И. Тектоносфера и металлогения Забайкалья в геоисторическом освещении // Геология рудных месторождений. 1990. – №1. – С. 21-36.
3. Новокрещенов С. М. и др. Отчет о результатах поисковых работ в пределах Лугоканской площади за 2006-2008 год. – 2009. – Чита: Фонды ООО «Востокгеология».
4. Старостин В. И., Игнатов П. А. Геология полезных ископаемых. – М.: Академический Проект, 2004. – 512 с.
5. Щеглов А. Д. Металлогения и тектоника // Тихоокеанская геология. – 1985. – №6. – С. 3-11.

Кварцевые жилы Ундинской кварцевожильной зоны

Федоров А.М.¹, Юргенсон Г.А.², Непомнящих А.И.¹, Макрыгина В.А.¹

¹Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск, Россия, sashaf@igc.irk.ru

²Институт природопользования, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, yurrga@mail.ru

Аннотация. Изучены кварцевые жилы южной части Ундинской кварцевожильной зоны Аргунского блока Монголо-Охотского складчатого пояса. На основании минералого-петрографических и изотопно-геохимических данных выделены три генетических типа кварцево-жильной минерализации. Полученные результаты позволяют сделать заключение о разных источниках вещества для кварцевых жил.

Ключевые слова: Забайкалье, кварц, геохимия, изотопия кислорода, минералогия.

Quartz veins of the Undinian quartz vein zone

Fedorov A.M.¹, Yurgenson G.A.², Nepomnyashchikh A.I.¹, Makrygina V.A.¹

¹Institute of Geochemistry SB RAS Irkutsk, Russia, sashaf@igc.irk.ru

²Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, yurrga@mail.ru

Abstract. We study quartz veins of the southern part of the Undinian quartz-vein zone of the Argun block in the Mongolian-Okhotsk folded belt. Based on mineralogical-petrographic and isotopic-geochemical data, three genetic types of quartz-vein mineralization are distinguished. The results allow us to conclude about different sources of matter for the quartz veins.

Keywords: Transbaikalia, quartz, geochemistry, oxygen isotopy, mineralogy.

Одним из путей развития минерально-сырьевой базы особо чистого кварца (ОЧК) России может быть выявление принципиально новых, в том числе и нетрадиционных источников сырья. Особый интерес в этом отношении могут представлять кварц пегматитов и лейкократовых гранитов, гранулированный кварц и высокочистые хемогенные кварциты, достаточно широко представленные в Восточносибирском и Забайкальском сегментах Центрально-Азиатского складчатого пояса. Установление генезиса высокочистых разновидностей кварцевого сырья в различных геодинамических обстановках очень важно для правильной постановки поисковых работ. Современные исследования по минерации кварца указывают на то, что большая часть месторождений высокочистого кварца, как в хорошо изученном Уральском регионе, так и в Прибайкалье, тяготеют к тектоническим структурам различного ранга. До настоящего момента считалось, что наиболее чистыми разновидностями являются только гранулированные кварцы. Однако открытые в конце XX века «суперкварциты» Восточного Саяна и зарубежные работы по получению кварцевых концентратов из кварца аляскитовых гранитов, пегматитовых жил и кварцитов, развитых в подобных обстановках, позволяют расширить область поисков на новом аналитическом уровне.

Пробы кварца Ундинской кварцевожильной зоны [8] Аргунского блока Монголо-Охотского складчатого пояса были отобраны из жил, залегающих в вулканогенно-осадочных породах талангуйской свиты (талангуйский участок) и гранитоидах борщовочного комплекса (борщовочный участок) [6]. Изученный кварц жил борщовочного и талангуйского участков по облику, петрографическим и геохимическим свойствам отличается достаточно сильно. Мощность опробованных жил составляет от 0,5 до 8 метров при длине в среднем 25 метров, максимальная наблюдаемая длины жилы составила около 100 метров.

Кварц талангуйского участка имеет цвет от белого до серого, с розовым оттенком, иногда до светло-вишневого, тонкозернистый, преимущественно сахаровидный, часто сливной, ожелезнен по кавернам и трещинам. Кварц борщовочного участка преимущественно серый до белого, зачастую сливной с видимыми минеральными включениями. Кварц пробы 1583 преимущественно серый, средне- до гигантозернистого, сливной, замутненный, иногда

прозрачный, ожелезнен по трещинам и поверхностям. Характерной особенностью этой пробы стало то, что в нем наблюдаются удлиненные до 6 мм, субпараллельные порфиробласты кварца.

Кварц талангуйского участка преимущественно неравнозернистый от мелко- до крупнозернистого, зачастую гранулирован. Зерна кварца как в среднезернистом, так и в крупнозернистом агрегатах часто вытянуты в одном направлении и могут формировать блоки-зерна, сложенные реликтами более мелких зерен кварца. Вдоль удлиненных кристаллов кварца формируются тонкие иголки мусковита. Мелкие зерна гранулированного кварца характеризуются слабоволнистым погасанием. Более крупные зерна (средне- и крупнозернистые) зачастую имеют блочно-волнистое погасание. Границы зерен среднезернистых разновидностей более ровные, а у крупнозернистых разновидностей извилистые, ступенчатые. Иногда отмечаются секущие слабоизвилистые тонкие (до десятых долей мм) прожилки, сложенные мелкозернистым кварцем с примесью мелких кристаллов мусковита, а также гётита. Кварц в прожилках преимущественно изометричный, мелкозернистый с ровным, слабоволнистым, облачным погасанием.

Главное отличие кварца борщовочного участка в его интенсивном катаклазе и милонитизации. Практически все пробы этой зоны разбиты несколькими системами пересекающихся и ветвящихся трещин. Кварц борщовочного участка по размеру зерен можно разделить на два типа: 1. Крупнозернистый. 2. Тонкозернистый. При этом второй в свою очередь делится на исходный и перекристаллизованный.

Крупнозернистый кварц борщовочного участка преимущественно неравнозернистый от средне- до гигантозернистого без видимых крупных минеральных включений. Зерна кварца как в среднезернистом, так и в крупнозернистом агрегатах преимущественно изометричные, но могут быть сильно вытянутыми в одном направлении и формировать блоки-зерна размером в несколько мм. Один из таких блоков представляет собой агрегат из фрагментов разорванных, по всей видимости, зерен по системе пересекающихся и изгибающихся трещин. Одна часть блока сложена катаклазированными до образования агрегата субпараллельных субзерен разделенных по оперяющим трещинам. Другая часть сложена сильно удлиненными линзовидными кварцевыми телами с волнисто-блоковым погасанием. Третья часть зерна сложена среднекрупнокристаллическим кварцем с блоково-волнистым или блоково-облачным погасанием.

Многочисленные трещины, наблюдаемые в этих кварцах, рассекают, как правило, все типы кварцевых агрегатов и сложены тонкозернистым и милонитизированным и катаклазированным материалом, преимущественно кварцем. Аутигенные зернышки кварца с достаточно ровными границами и погасанием. Обломки катаклазированного кварца могут иметь форму от изометричной и даже округлой до треугольной и удлиненной. Кроме кварца по трещинам развиваются минеральные включения в виде небольших по размеру иголочек светлой слюды (иногда до 3-0,5 мм), гётита, турмалина и других минералов. В некоторых пробах зерна турмалина с размерами от 0,05x0,009 до 0,2x0,09 мм развивающегося по трещинам могут занимать до 5 % поверхности шлифа. Зерна турмалина как правило ориентированы вдоль трещин и могут быть рассечены более поздними зернами кварца. В зонах катаклаза зерна турмалина определенной ориентировки не имеют. Кроме того, мелкие перекристаллизованные кварцевые зерна второй генерации складывают ответвляющиеся, перовидные зоны трещин, сложенные новообразованным кварцем.

Пробы 1580 и 1583 отличаются от всех остальных проб и по всей видимости имеют несколько иное происхождение. Шлиф 1580 представляет собой тонкозернистый жильный кварц слоистой текстуры. Мелкие зерна (0,05-0,1 мм) образуют рассеченный тонкими трещинами агрегат вытянутых параллельно слоистости индивидов. Трещины заполнены милонитизированным материалом и поздним тонкозернистым кварцем. Кварц пробы содержит крайне редкие и очень мелкие включения рудных минералов. Часть более крупных среднезернистых кристаллов (0,1-0,3 мм) вероятно представляет собой

перекристаллизованный с увеличением зерна кварца второй генерации. Такой кварц занимает не более 10 % от поверхности шлифа.

В шлифе 1583 количество тонкозернистого жильного кварца слоистой текстуры аналогичной описанной выше для шлифа 1580 сокращается до 30 %. Средне-крупнокристаллический и перекристаллизованный до образования агрегата субпараллельных линзовидных агрегатов кварц преобладает. Погасание крупных зерен волнистое, блочное. Все разновидности кварца секутся тонкими (до 0,3-0,5 мм) просечками поздней генерации.

Геохимические исследования кварцевых жил Ундинской зоны позволяют предварительно отнести их к высокотемпературному гидротермальному типу, но с несколько отличными источниками вещества. Жилы талангуйской зоны по классификации [13] группируются в поле розового гидротермального кварца. По классификации [9] эта часть поля соответствует зоне кварца из пегматитов, но следует учитывать, что автор в это поле поместил кварцы из пегматитов Норвегии характеризующиеся как экономически перспективные [12] т.е. достаточно чистые. Изучаемые кварциты в значительной степени (особенно талангуйские) подверглись перекристаллизации и их составы могли мигрировать в зону низких содержаний элементов. Кроме того, уточненные данные по структурным примесям могут перевести кварцевые жилы ундинской зоны в зону низких температур. Необходимо сказать, что без дополнительных исследований содержания структурных примесей высокопрецизионными методами вопрос генезиса кварцевых жил не может быть решен однозначно.

На возможную связь с процессами пегматитообразования талангуйских кварцев указывают низкие изотопные метки этих пород (8,8-9,3‰ $\delta^{18}\text{O}$), но к этому же диапазону можно отнести и средние магматические породы являющиеся вмещающими для этих жил и, по всей видимости, являющимися источниками вещества для них. Основная часть разреза талангуйской свиты сложена вулканическими породами среднего и основного состава, среди которых в небольшом объеме присутствуют вулканогенно-осадочные образования [6].

При изучении кварцевых жил, в том числе и испытывавших перекристаллизацию, наиболее информативными являются редкоземельные элементы (РЗЭ) которые наследуют распределение протолита и фиксируют изменения вследствие интенсивных наложенных процессов [5]. Типичным соотношением для гидротермальных кварцевых жил являются незначительное превышение легких РЗЭ над тяжелыми, практически ровное, или с небольшим наклоном, расположение тяжелых РЗЭ, как правило выраженный отрицательный европиевый минимум, хотя в некоторых случаях он может быть либо не выраженным, либо положительным [5, 7]. Похожую картину описывают [10] для высокочистых кварцевых песков со смешанными источниками вещества.

На генетическую связь кварцевых жил талангуйского участка с вулканогенно-осадочными породами указывают характерные для средних и основных пород пониженные содержания РЗЭ и редких элементов (РЭ). Кроме того, хоть и слабо, но сохраняется цериевый минимум и появляется европиевый. Низкие содержания (в среднем 400 ppm при диапазоне от 90 до 833 ppm) нормируемых для высокочистых разновидностей кварца Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Cu, Li, B и P в валовых пробах указывают на преимущественно монокварцевый состав жил талангуйского участка. Незначительные повышения Mg и Ca могут указывать на присутствие карбонатного вещества в некоторых пробах, вероятно в виде мелких прожилков, а наряду с повышенным содержанием фосфора может говорить о концентрации в виде апатита. Анализ соотношения редких и редкоземельных элементов в кварце талангуйского участка и сопоставление с хорошо изученными карельскими [7] и уральскими [5] кварцами указывает на их гидротермальный генезис и связь с магматическими породами. Выраженные положительные аномалии Be, Li и Sn, при невысоких содержаниях этих и остальных редких и редкоземельных элементов [7] указывает на генетическую связь с магматическим протолитом.

Для жил борщовочного участка источниками вещества могут быть породы разных фаз и протолитов гранитоидов борщовочного гранитоидного комплекса [6]. В составе первой фазы комплекса описаны гнейсовидные граниты, гранодиориты и граносиениты. Кроме того,

отмечается насыщенность пород первой фазы скиалитами и ксенолитами метаморфических сланцев и гнейсов, реже амфиболитов, кварцитов и мраморов величиной от долей метра до сотен метров по мощности и от десятков метров до многих километров в длину. Иногда встречаются реликтовые включения плагиогнейсов, кристаллических сланцев основного состава, плагиоклазитов, плагиогранитов и гранитогнейсов. К особенностям минерального состава гранитов второй фазы относится преобладание ортоклаза над плагиоклазом, присутствие магнезиального биотита, позднего альбит-олигоклаза, повышенная монацитонность, развитие мусковита, турмалина, апатита, флюорита [6]. Такой пестрый состав вмещающих пород создает предпосылки для формирования гидротермальных жил различного минерального и элементного состава.

Часть жил борщовочного участка, хотя и расположены в поле гидротермального кварца, но несколько сдвигаются в зону пегматитового типа, возможно, вследствие частичной перекристаллизации кварца. Три пробы (1584-1586) вследствие значительной обогащенности минеральными включениями (в первую очередь турмалином и мусковитом), наоборот, тяготеют к зоне кварца из гранитоидов. Еще две пробы 1580 и 1583 отобранные в пределах борщовочного участка по петрографическим и изотопно-геохимическим критериям можно отнести к седиментогенным кварцам. Таким образом, опираясь на изотопно-геохимические данные, кварцевые жилы борщовочного участка можно разделить на две группы: 1) магматогенный (борщовочный и борщовочный с турмалином) и 2) седиментогенный (пробы 1580 и 1583). Тем не менее, подобное разделение не исключает контаминацию вещества в разных типах жил.

Магматогенный источник вещества для кварцевых жил борщовочного типа определяется не только типичными для кислых пород метками тяжелого кислорода (полученное значение $\delta^{18}\text{O}$ равно 10,9 ‰). Главным критерием выделения этого типа стали повышенные в несколько раз содержания ряда некогерентных элементов, типичных для поздних кислых дифференциатов гранитов [1], таких как Be, K, Rb, Cs, Sr, Pb и Sn. Этот тренд более выражен для образцов с крупными минеральными включениями турмалина и слюд, в том числе литийсодержащих.

Достаточно большое (в среднем около 3000 ppm) содержание нормируемых Al, Ti, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Cu, Li, B и P в валовых пробах говорит не только о большом количестве минеральных примесей. Повышенные содержания Ga и Ge могут указывать на более высокое содержание структурных примесей.

Для терригенно-осадочных пород характерны высокие содержания РЗЭ с выраженными цериевым и европиевым минимумами [2, 3] и наиболее характерным интервалом $\delta^{18}\text{O}$ – от 10 до 15‰ [4, 11]. По сравнению с магматогенным кварцем изотопные исследования кварца пробы 1583 показали более высокую метку $\delta^{18}\text{O}$ равную 13,2 ‰. А по содержанию РЗЭ пробы 1580 и 1583 показали самые высокие содержания. При этом в перекристаллизованном с укрупнением зерна кварце пробы 1583 отмечается значительное сокращение тяжелых РЗЭ при незначительном легких. Содержания основной части редких и порообразующих элементов от пробы 1580 к пробе 1583 значительно снижается. Сопоставляя данные по распределению элементов, можно сделать заключение о выносе при перекристаллизации невидимых при петрографических исследованиях темноцветных и, возможно, рудных минералов-концентраторов тяжелой части РЗЭ.

Выводы

Источниками вещества для кварцевых жил являлись магматические кислые породы, в том числе турмалиносодержащие, и кварциты для борщовочного участка и вулканогенно-осадочные среднего и основного составов для талангуйского. В процессе син- или эпигенетических тектонических процессов кварцевые жилы испытали катаклаз, милонитизацию и перекристаллизацию. Кварцевые жилы талангуйского участка содержат примесей меньше, чем жилы борщовочного и могут быть перспективными для выплавки оптических стекол. Вероятнее всего, различия в элементных составах связано с процессом

перекристаллизации с укрупнением зерна и сокращением количества трещин и межзерновых границ.

Библиографический список

1. Козлов В.Д., Спиридонов А.М., Чокан В.М. Петролого-геохимические особенности и металлогеническая специализация гранитоидов Любавинско-Хапчерангского рудного района Центрального Забайкалья // Изв. Сиб. отд. Секции наук о Земле РАЕН. – 2008. – № 7 (33). – С. 4-17.
2. Макрыгина В.А. Геохимия отдельных элементов: Учебное пособие / Отв. ред. В.С. Антипин. – Новосибирск.: Академическое издательство ГЕО. – 2011. – 195 с.
3. Петрова З.И., Конева А.А., Макрыгина В.А. Геохимия кварцитов и кварцитосланцев Приольхонья и о-ва Ольхон // Геохимия. – 1995. – № 10. – С. 1448-1464.
4. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм (по данным изотопной геохимии) // Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / Москва, 2001.
5. Поленов Ю.А., Огородников В.Н., Савичев А.Н. Редкоземельные элементы в кварцево-жильных образованиях Урала и их индикаторная роль // Литосфера. – 2013. – № 2. – С. 105-119.
6. Рутштейн И. Г., Богач Г. И., Винниченко Е. Л. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Приаргунская. Лист М-50-III – Балей. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2015.
7. Светова Е.Н., Светов С.А., Данилевская Л.А. Редкие и редкоземельные элементы в кварце как индикаторы условий минералообразования // Труды Карельского научного центра РАН. № 3. 2012. – С. 137-144.
8. Яловик Л.И., Татаринцев А.В. Гранулированный кварц – новый прогнозируемый вид минерального сырья Читинской области // Известия вузов. Геология и разведка. – 2005. – № 2. – С. 49-53.
9. Goëtze J. (2009) Chemistry, textures and physical properties of quartz – geological interpretation and technical application. *Mineralogical Magazine*, Vol. 73(4). – PP. 645-671.
10. Goëtze J., Lewis R. (1994) Distribution of REE and trace elements in size and mineral fractions of high-purity quartz sands. *Chemical Geology* 114 (1994) 43-57.
11. Magaritz M., Taylor H.P. jr. (1976) Oxygen, hydrogen and carbon isotope studies of the Franciscan formation, Coast Ranges, California. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40. – PP. 215-234.
12. Müller A., Ihlen P.M., Snook B., Larsen R., Flem B., Bingen B., Williamson B.J. (2015). The chemistry of quartz in granitic pegmatites of southern Norway: Petrogenetic and economic implications *Econ. Geol.*, 110 (2015). – PP. 1737-1757.
13. Schrön, W., Schmädicke, E., Thomas, R. and Schmidt, W. (1988) Geochemische Untersuchungen an Pegmatitquarzen. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 16, 229_244.

Геохимические особенности жилы Женевской и вмещающих её горных пород Дарасунского месторождения золота (Забайкалье, Россия)

Юргенсон Г.А., Миронова Е.В.

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

Аннотация. Впервые приведены данные о минеральном составе и геохимических особенностях жилы Женевской Дарасунского месторождения золота и вмещающих её горных породах. Руды состоят из сульфидов (до 30-80%), теллуридов, самородного золота, сульфосолей, ассоциирующ с кварцем, сидеритом, кальцитом и другими минералами. Показаны формы выделения и взаимоотношений золота, сульфидов и минералов теллура. Содержание золота достигает 500 г/т и более. Приведены средние содержания Au, Ag, Te, As, Bi, Sb, Cu, Pb, Zn и других химических элементов, а также их взаимосвязи. Концентрации их в жильном материале на порядки больше, чем во вмещающих горных породах.

Ключевые слова: сульфиды, теллуриды, сульфосоли, средние содержания химических элементов, жила Женевская, Дарасунское месторождение золота, Забайкалье

Geochemical features of the vein of the Geneva and the rocks of the Darasunskoye gold deposit containing it (Transbaikalia, Russia)

Yurgenson G.A., Mironova E.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, yurgga@mail.ru

Abstract. For the first time, data on the mineral composition and geochemical features of the vein of the Geneva Darasun gold deposit and the rocks containing it are presented. The ores consist of sulfides (up to 30-80%), tellurides, native gold, sulfosols, associated with quartz, siderite, calcite and other minerals. The forms of isolation and relationships of gold, sulfides and tellurium minerals are shown. The gold content reaches 500g/t or more. The average contents of Au, Ag, Te, As, Bi, Sb, Cu, Pb, Zn and other chemical elements, as well as their interrelations, are given. Their concentrations in the vein material are orders of magnitude greater than in the host rocks.

Keywords: sulfides, tellurides, sulfosalts, average content of chemical elements, Geneva, Darasunskoye gold deposit, Transbaikalia.

Введение. Дарасунское месторождение золота в Забайкальском крае расположено в поселке городского типа Вершино-Дарасунский Тунгокоченского района Забайкальского края. Оно входит в состав крупного Дарасунского рудного поля и является составной частью Дарасун-Могочинской структурно-формационной зоны золото-молибденового пояса Забайкалья. Оно занимает территорию около 60 км² и включает Дарасунское, Талатуйское золоторудные, Теремкинское золотосеребряное, Усть-Теремкинское серебряное месторождения и ряд рудопоявлений. Россыпная золотоносность бассейна рек Дарасун, Жарча и других известна с середины XIX века. Упоминания о коренном золотом оруденении в Дарасунском рудном районе появляются с 1889 года и дальнейшая история открытий, изучения и разработки жил с коренным золотом дана в работах [1-3] и здесь не рассматривается.

Рудное поле сложено магматическими породами. Древний субстрат представлен нижнепалеозойскими метаморфизованными габброидами. Они прорваны и метаморфизованы среднепалеозойскими-раннемезозойскими, диоритами, гранодиоритами, гранитами, граносиенитами, сиенитами амананского интрузивного комплекса. Большинство исследователей оруденение связывается с субвулканическими образованиями амуджиканского комплекса средне-верхнеюрского возраста. Д.А. Тимофеевский, наиболее обстоятельно изучивший месторождение полагает, что золотое оруденение связано с малыми интрузиями плагиогранит-порфиоров [2]. Жильный комплекс, к которому принадлежит жила Женевская, развитый на Юго-Западном участке месторождения, приурочен к контактам контрастных по составу основных (метагаббро) и щелочно-кислых (граносиениты) пород. Эта серия жил включает Эповскую, Западную, Алмазную, Женевскую и другие.

Жила Женевская была обнаружена 2 сентября 1985 года в штреке 1-бис по жиле Эповской, которая выклинилась. Тонкий выход её был замечен одним из авторов на горизонте 617 м в южной стенке на 165 м от его устья (40 м от забоя в 16 м от МТ-131). Этот выход её имел

мощность 2-3 см и имел кальцит-кварц-пиритовый состав (образец 542/30). Содержание пирита, в виде кубических и кубооктаэдрических кристаллов в ней было около 70%. Вмещающая порода представлена интенсивно пиритизированным габбро-амфиболитом, пирит в которой представлен кристаллами кубического габитуса величиной до 0,2-1,0 мм при содержании до 15% (образец 542а/30). Здесь же на контакте интенсивно пиритизированных и хлоритизированных тонкозернистого микродиорита и габбро-амфиболита находилась тонкая жилка анкерит-пирит-арсенопиритового состава (образец 543/30).

В связи с тем, что жила Эповская была потеряна и необходимо было обоснование для продолжения работ на горизонте 617 м, главному геологу Дарасунской ГРЭ Б.П. Тупицыну было доложено, а затем 4 или 5 сентября сообщено об этой находке на заседании научно-технического совета экспедиции и дана рекомендация о целесообразности проходки горной выработки для вскрытия выявленной жилы и определения её промышленной значимости. В период между 17 и 18 октября 1985 года главный Б.П. Тупицын сообщил одному из авторов, что штреком, пройденным по его рекомендации вскрыта и прослежена уже на 250 м золотоносная жила с максимальной мощностью до 50 см и высокими содержаниями золота.

22 октября 1985 года группа исследователей в составе Г.А. Юргенсона и Т.Н. Юргенсон приступила к её документации и отбору образцов методом минералогического картирования.

Материал и методы исследования. Отбор проб производился по линиям сечения, располагавшихся примерно через 50 м в зависимости от характера изменчивости мощности жилы, вмещающих горных пород и интенсивности околожильных изменений. Привязка их определялась относительно маркшейдерских точек, обозначенных бирками, висящими на прочных нитях, закрепленных в кровле горной выработки. Положение их в пространстве известно.

В каждом сечении в направлении от висячего или лежащего бока жилы во вмещающих породах пробы отбирались по интервалам до 1 м от контакта с жилой через 1 м, затем в пределах метра от жилы через 0,5 м, затем следующие полметра через 25 см, затем отбирался целиком интервал приконтактной части горной породы шириной 10 см. Затем жильный материал отбирался сплошь, каждый образец нумеровался и на нем чертилась стрелка указывающая направление отбора положение в жиле. По мере выхода из жилы расстояния между образцами изменялись в обратном порядке. По сути дела, отбирались ориентированные в пространстве образцы жильного материала. Это делалось для того, чтобы можно было определить природу минеральной зональности и направление изменения свойств и состава минералов и минеральных агрегатов, и направления нарастания зон в рудном теле. Непосредственно в горной выработке производились зарисовки и краткие описания разрезов, а детальные описания в полевом дневнике выполнялись ежевечерне.

Всего за 5 дней опробовано 5 разрезов в штреке длиной 250 м и отобрано 153 образца.

Из отобранных образцов приготовлены пробы для изучения химического состава количественным спектральным и рентгеноспектральным анализами. Изучение минерального состава жильного материала и вмещающих горных пород выполнено в шлифах и аншлифах методами оптической и электронной микроскопии. Золото определено методом спектрозолотометрии и пробирным анализом. В представляемой работе использованы аналитические данные по 118 образцам, из них жильный материал представлен 50-ю пробами, а вмещающие породы 68-ю.

Особенности строения и минералогии жилы Женовской. Она представляет собою крупную апофизу жилы Эповской. Мощность её находится в пределах 0,08-0,6 м. Она отличается от жилы Эповской, описанной нами ранее в [3] сложностью строения и существенно большим содержанием сульфидов. Зональность её в принципе похожа на таковую других жил. В приконтактных её частях присутствует сульфидная оторочка, преимущественно сложенная пиритом, непосредственно контактирующая с силикатами вмещающих горных пород, которые также интенсивно сульфидизированы. Следующая зона сложена ранними генерациями жильного кварца, иногда в ассоциации с турмалином. Затем в направлении к осевой части жилы следует зона, обогащенная халькопиритом. Она сменяется следующими за ним полосами и линзами пирита в ассоциации с арсенопиритом. Они

сменяются друзоватым, шестовато-гребенчатым кварцем, после которого, чаще всего в друзовых полостях или трещинах образуются поздние генерации сфалерита, халькопирита, галенита, теннантита или тетраэдрита, золота, часто ртутистого, акантита, ларозита $(\text{Cu,Ag})_{21}(\text{Pb,Bi})_2\text{S}_{13}$, эксимоита $(\text{Ag}_7\text{Pb}_{10}\text{Bi}_{15}\text{S}_{36})$, самородного висмута, сурьмяно-висмутовых сульфоселей. Относительно широко развиты теллуриды, представленные гесситом (Ag_2Te) , сульфотеллуридами. Присутствуют цумоит (BiTe) , хедлейит (Bi_7Te_3) , теллуrowисмутит (Bi_2Te_3) , алексит $(\text{PbBi}_2\text{Te}_2\text{S}_2)$. Осевые части жилы выполнены сидеритом, мангананкеритом. Заканчивается процесс формирования жилы кальцитом, иногда манганкальцитом.

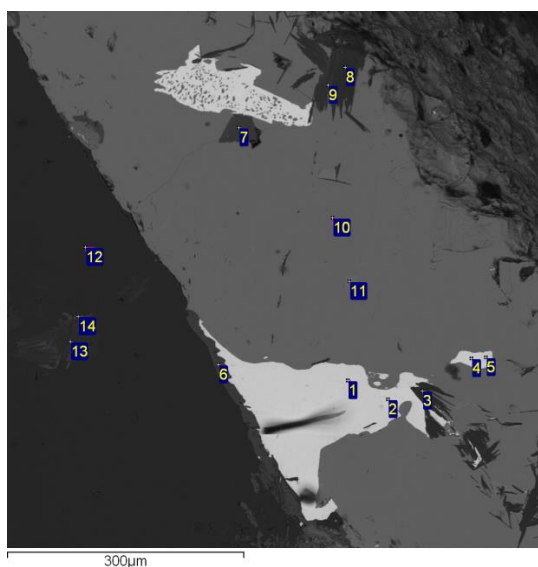
Особенности строения и состава фрагментов жилы представлены на образцах из наиболее мощной части жилы, где присутствуют редкие теллуриды.

На рисунке 1 показан фрагмент жилы на интервале 12-22 см от её контакта со стороны лежачего бока. Он сложен крупнозернистым агрегатом кварцево-сульфидного состава. Сульфиды представлены пиритом, арсенопиритом и халькопиритом. При этом содержание халькопирита достигает в отдельных участках до 30-80%. Кварц массивный двух генераций. Одна сетется сульфидами, а другая по тонким трещинам внедряется в них.

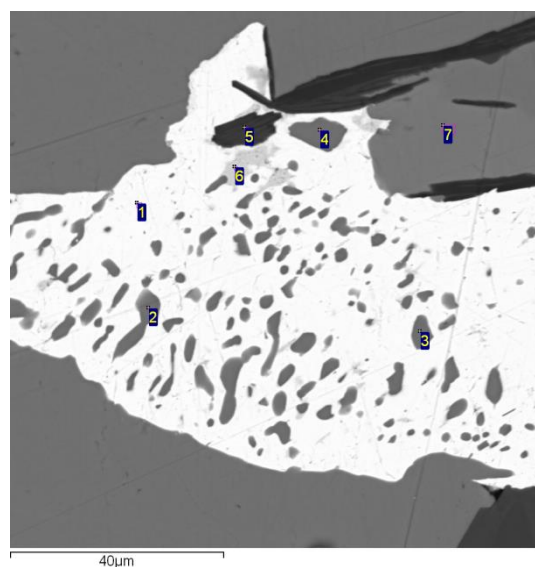


Рисунок 1. Кварцево-сульфидный фрагмент жилы Женеvской. Образец 581-30.

На рисунке 2 представлена часть аншлифа на электронно-микроскопическом снимке. Совершенно отчетливо видны включения золота в халькопирите в ассоциации с мусковитом и гидрослюде. Особенностью этого участка жилы является фрагмент твердого раствора цумоит-халькопирит с избыточным серебром в виде гессита. Относительно широкое развитие теллуридов в ассоциации с золотом, серебром и висмутом подтверждается тенденцией к корреляции содержаний золота и теллура в жильном материале, показанной на рисунке 3.



а)



б)

Рисунок 2: а) Ассоциация золота (1, 5) с цумоитом (2, 4) в халькопирит (10)-сфалеритовом (11) агрегате в сульфидно-кварц (12)-мусковит (3, 8, 13)-сидеритовой (14) части жилы. б) строение фрагмента крупного выделения цумита (1), содержащего включения халькопирита (2-3) и гессита (6), образующих структуру распада твердого раствора в халькопирите (7), содержащих чешуи гидрослюды (5). Обр.581_3-_1. Жила Женеvская, горизонт 617 м, Дарасунское месторождение.

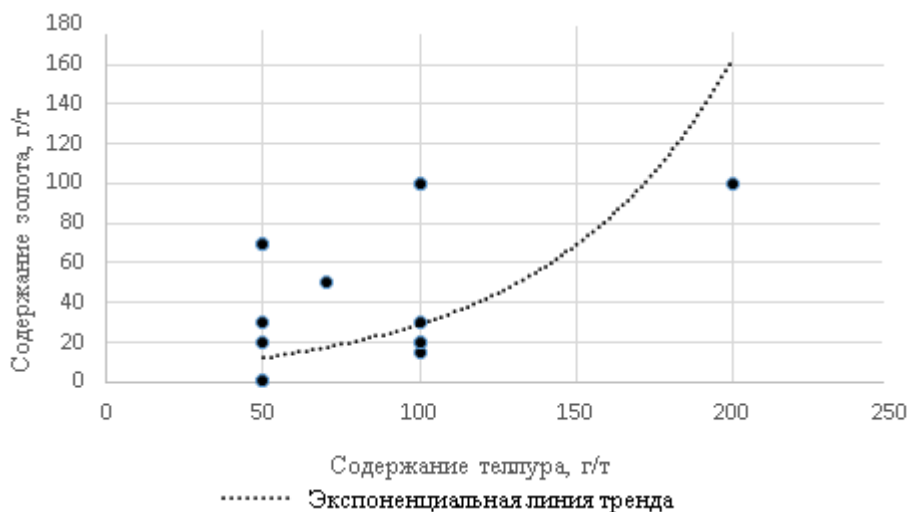


Рисунок 3. Экспоненциальная линия тренда статистической характеристики концентраций золота, теллура, в жиле Женевской. Содержания даны в г/т.

Статистические данные о концентрациях и взаимосвязях химических элементов. В результате статистической обработки данных о содержаниях химических элементов в жильном материале и вмещающих околорудноизменённых горных породах жилы Женевской выявлено их четкое различие, заключающееся в том, что концентрации их во вмещающих горных породах существенно меньше по сравнению с жильным материалом. Это хорошо видно на соответствующих рисунках и численных значениях. В связи с тем, что содержания мышьяка, меди, свинца и цинка на порядки выше, чем золота и серебра, на графиках для удобства их построения содержания уменьшены.

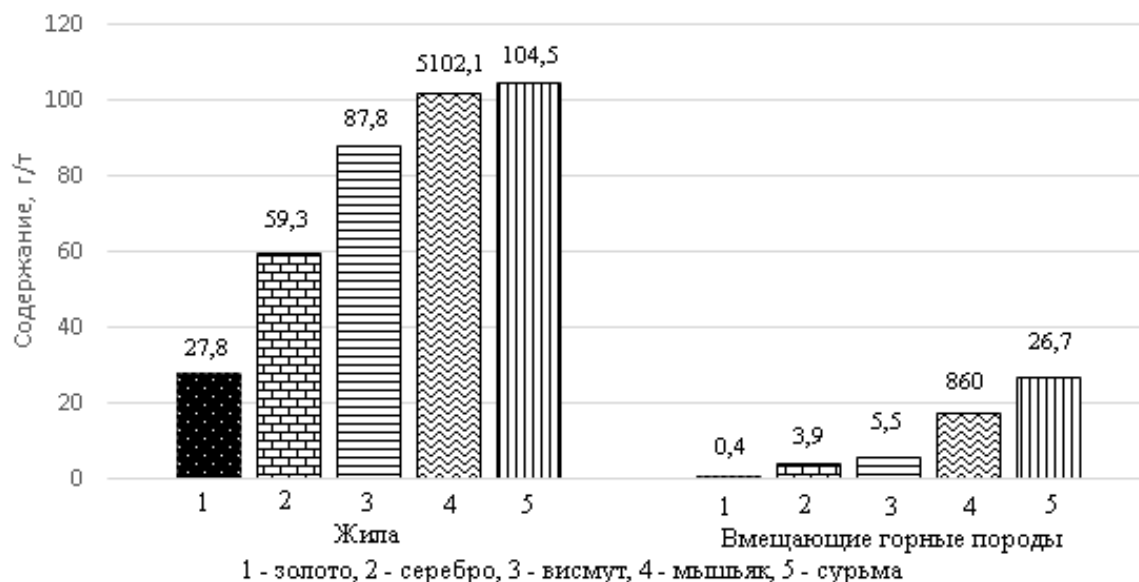


Рисунок 4. Средние концентрации золота, серебра, висмута, мышьяка и сурьмы. Примечание: содержание мышьяка уменьшено в 50 раз.

На рисунке 4 показано, что средние содержания золота и прямых его спутников серебра, висмута, сурьмы и мышьяка растут в этом направлении, но мышьяк резко преобладает более, чем на 2 порядка. Максимальные содержания золота достигают в единичных пробах 230-501 г/т. Во вмещающих горных породах содержание золота меньше почти на три порядка, а остальных – на порядок. При этом, распределение их по содержаниям почти сохраняется, но

вынос сурьмы во вмещающие породы значительно меньше, чем других химических элементов. Из прямых спутников золота и серебра лишь содержания теллура во вмещающих горных породах оказались ниже порога чувствительности анализа (0,05 г/т). поэтому на рисунке 5 представлены усредненные данные по его содержанию в сравнении с золотом, сурьмой и висмутом. Его содержания в жильном продуктивном комплексе в три раза больше, чем золота и 1,4 раза больше, чем серебра (см. рисунок 5), примерно равно содержанию висмута.

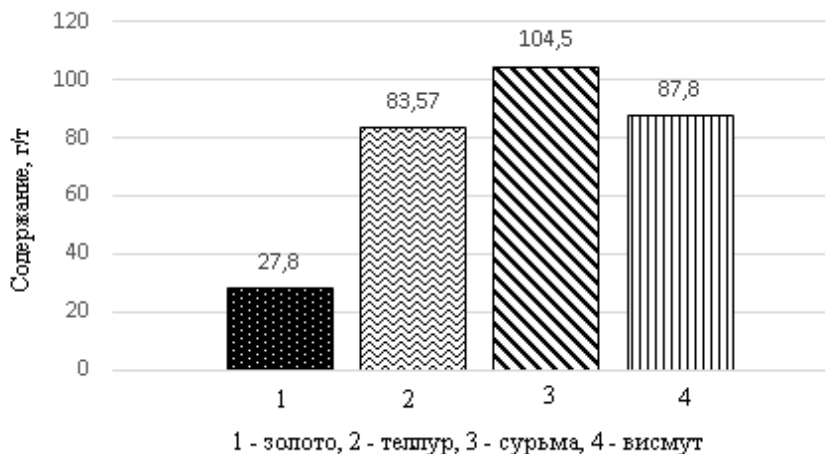


Рисунок 5. Средние содержания золота, теллура, сурьмы и висмута, г/т

Весьма показательны соотношения кобальта и никеля, а также вольфрама в продуктивном минеральном комплексе и во вмещающих горных породах (рисунок 6). Кобальт/никелевое соотношение в жиле 4,5, а во вмещающих пиритизированных габбро-амфиболитах, диоритах и биотит-роговообманковых гранодиоритах 0,59. Это обусловлено тем, что в жиле кобальт и никель связаны с пиритом, пирротинидами и арсенопиритом, в которых с глубиной их соотношение растёт, как это было показано для жилы Эповской [3], а во вмещающих породах средне-основного состава в амфиболах преобладает никель над кобальтом, и образующиеся здесь сульфиды захватывают высвобождающийся при хлоритизации амфибола никель. Содержание вольфрама выше в 2,06 раза во вмещающих породах за счет образующегося на ранних временах формирования приконтактовых частей жил и зон околорудных изменений шеелита.

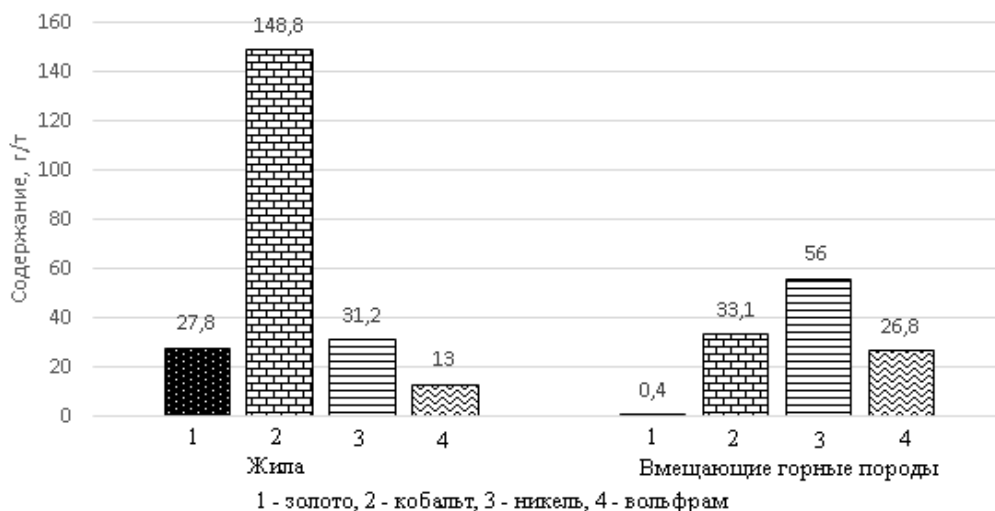


Рисунок 6. Сравнение содержаний золота, кобальта, никеля и вольфрама в продуктивном минеральном комплексе и вмещающих околорудноизмененных горных породах.

Средние содержания сопутствующих золоту меди, свинца, цинка составляют, соответственно (г/т), $\chi =$ и σ ; $\chi = 641$ и $\sigma = 1119,2$; $\chi = 2672$ при $\sigma = 3534,4$. Количества их определяются содержанием халькопирита, блеклых руд, галенита и сфалерита.

Библиографический список

1. Спиридонов А.М., Зорина Л.Д., Китаев Н.А. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. – Новосибирск: ГЕО, 2006. – 291 с.
2. Тимофеевский Д.А. Геоогия и минералогия Дарасунского золоторудного района. – М.: Недра, 1972. – 60 с.
3. Юргенсон Г.А., Юргенсон Т.Н. Дарасунское рудное поле // Месторождения Забайкалья. Т. 1. Кн. 2. – Чита-Москва. Геоинформмарк, 1995. – С. 3-18.

Сравнительный анализ геохимических особенностей продуктивных минеральных комплексов месторождений вольфрама, молибдена и золота

Юргенсон Г.А., Филенко Р.А., Миронова Е.В.

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

Аннотация. Сравнительный анализ геохимических особенностей продуктивных минеральных комплексов месторождений в рядах типичных рудных формаций месторождений молибдена, вольфрама, олова и тантала показал, что содержания сурьмы, вольфрама и висмута имеют тенденцию к возрастанию в рассмотренном ряду месторождений вольфрама. Важным фактором, определяющим распределение содержаний вольфрама, является его минеральная форма (шеелит, молибдосшеелит, вольфрамит). Содержания лития, ниобия, германия, циркония и бериллия имеют тенденцию к возрастанию в рассмотренном ряду от гидротермалитов в амфиболитах к пегматитам. При этом для германия и лития выявились средние содержания выше кларка. Содержания мышьяка, висмута, сурьмы, вольфрама, для всех рассматриваемых месторождений существенно выше кларка, и поэтому отходы горного производства на этих объектах опасны для окружающей среды.

Ключевые слова: месторождения, содержания химических элементов, продуктивный минеральный комплекс, молибден, вольфрам, золото, олово, тантал.

Comparative analysis of geochemical features of productive mineral complexes of tungsten, molybdenum and gold deposits

Yurgenson G.A., Filenko R.A., Mironova E.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, yurgga@mail.ru

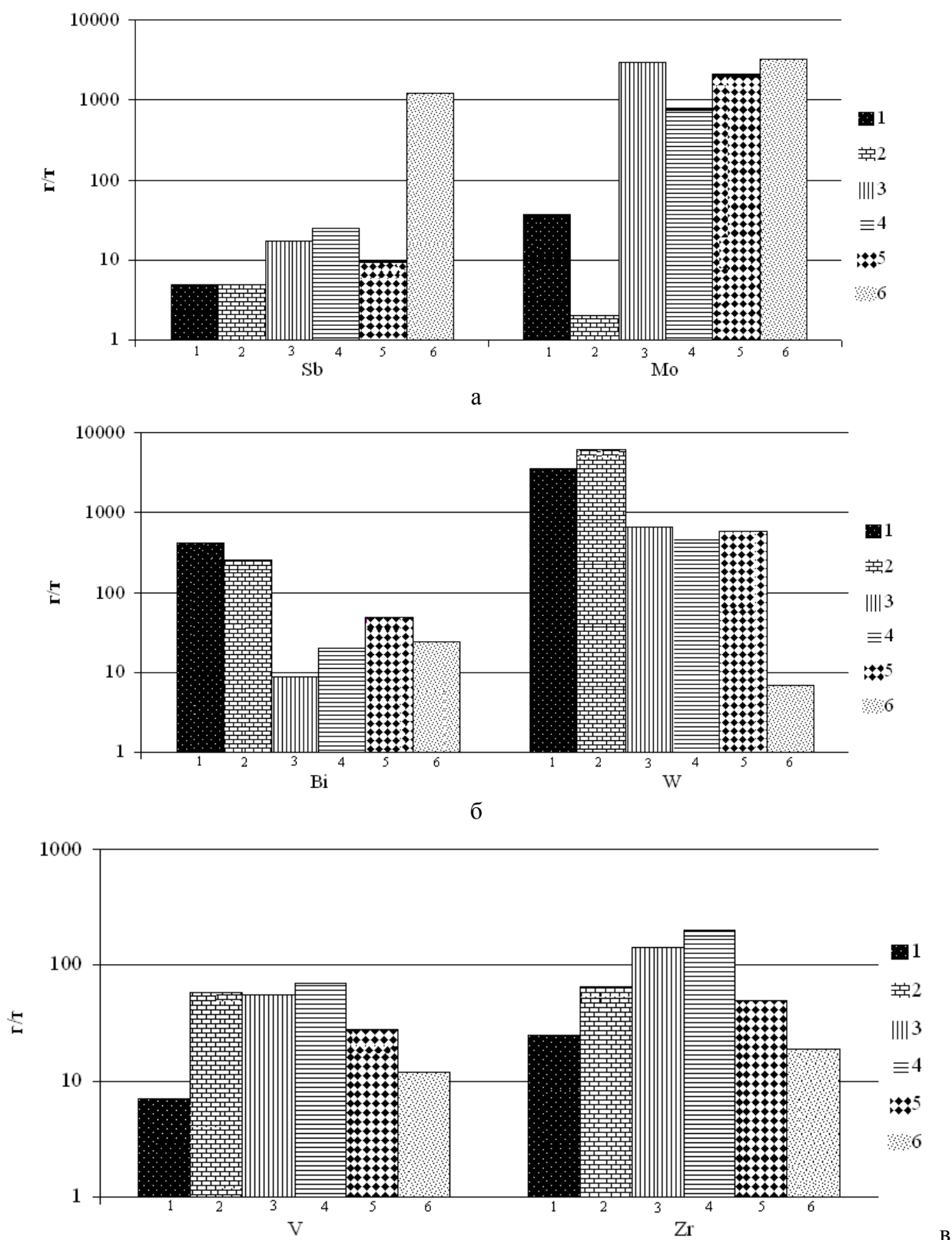
Abstract. A comparative analysis of the geochemical features of the productive mineral complexes of deposits in the series of typical ore formations of molybdenum, tungsten, tin and tantalum deposits showed that the content of antimony, tungsten and bismuth tends to increase in the considered series of tungsten deposits. An important factor determining the distribution of tungsten content is its mineral form (scheelite, molybdoscheelite, wolframite). The contents of lithium, niobium, germanium, zirconium and beryllium tend to increase in the considered series from hydrothermalites in amphibolites to pegmatites. При этом для германия и лития выявились средние содержания выше кларка. Содержания мышьяка, висмута, сурьмы, вольфрама, для всех рассматриваемых месторождений существенно выше кларка, и поэтому отходы горного производства на этих объектах опасны для окружающей среды.

Keywords: deposits, content of chemical elements, productive mineral complex, molybdenum, tungsten, gold, tin, tantalum.

Введение. Сравнительный анализ геохимических особенностей продуктивных минеральных комплексов месторождений в рядах рудных формаций представляется достаточно актуальным в связи различиями их минерального состава, который определяет подходы к выбору способов обогащения руд и максимально возможному извлечению промышленно важных полезных компонентов. Кроме того, актуальность вытекает из необходимости знать, какие из этих элементов могут быть экологически опасными при попадании их в отходы горного производства.

В предлагаемом сообщении излагается опыт сравнительного изучения геохимии руд месторождений молибденовых и вольфрамовых формаций. Эти данные были получены в процессе минералого-геохимического изучения месторождений с целью выявления их типохимизма для разработки количественных критериев рудно-формационного анализа и прогноза вероятности промышленного оруденения новых неизученных объектов. Для месторождений вольфрама были выбраны месторождения, где он связан с вольфрамитом (грейзены и связанные с ними гидротермальные жилы, Спокойнинское в Забайкалье, Забытое в Приморье) и вольфрам-золото-молибденовое с вольфрамом в вольфрамите и шеелите – молибдосшеелите (Бугдаинское) и вольфрамом только в шеелите в связи гидротермалитами в амфиболитах (Кти-Теберда, Кургашинчатское рудное поле на Северном Кавказе). Для месторождений молибдена — это собственно медно-порфировое молибденовое с халькопиритом (Жирекенское) – золото-молибденовое (Давендинское) – золотокварцевое с молибденитом (Александровское) в Забайкалье.

Результаты и обсуждение. Сравнение показало, что в этом ряду содержание сурьмы возрастает (рисунок 1а), а вольфрама – уменьшается (рисунок 1б).



1 – Спокойнинское, 2 – Кти-Тебердинское, 3 – Жирекенское, 4 – Бугдаинское, 5 – Давендинское, 6 – Александровское.

Рисунок 1. Геохимическая характеристика вольфрам- и молибденсодержащих продуктивных комплексов месторождений.

Содержание молибдена также имеет тенденцию к возрастанию (рисунок 1а). Исключение здесь составляют лишь руды месторождения Кти-Теберда, где широко развит мышьяк, являющийся в какой-то мере антагонистом молибдену. Содержание висмута (рисунок 1б) также имеет некую тенденцию к уменьшению с минимумом для медно-молибденового Жирекенского месторождения. Распределения ванадия и циркония симметрично (рисунок 1в). При этом минимальны содержания его в вольфрамитовых рудах в грейзенах и золото-молибденит кварцевых рудах, а максимально в шеелитовых вольфрамовых рудах в амфиболитах и в молибденит-вольфрамит-шеелитовых рудах Бугдаинского, а также в молибденит-халькопиритовых Жирекенского месторождения. Цирконий также минимально концентрируется в вольфрамитовых рудах в грейзенах и в золото-молибденит кварцевых (Александровское). Высокие концентрации его характерны для Кти-Теберды, Жирекенского и Бугдаинского месторождений (рисунок 1в).

В ряду тех же месторождений вольфрама и редких элементов Кти-Теберда (амфиболиты, шеелитовое) – Спокойнинское (апогранитные грейзены, вольфрамитовое) – Забытое (апогранитные грейзены с вольфрамитом, касситеритом, колумбитом) – Орловское (пегматитовое колумбит-микролит-лепидолит-вольфрамит) рассмотрено также распределение Li, Nb, Ge, Zr, As, Bi, Sb, W, Y, Mo, Sc, V, Yb, Be, Ga (рисунки 2-3). Содержания лития, ниобия, германия в этом ряду возрастают (рисунок 2). Содержания германия везде выше кларка, а литий и ниобий имеет содержания меньше кларка лишь в продуктивных минеральных комплексах Кти-Теберды. Цирконий распределяется примерно одинаково, не достигая содержаний, соответствующих кларку земной коры.

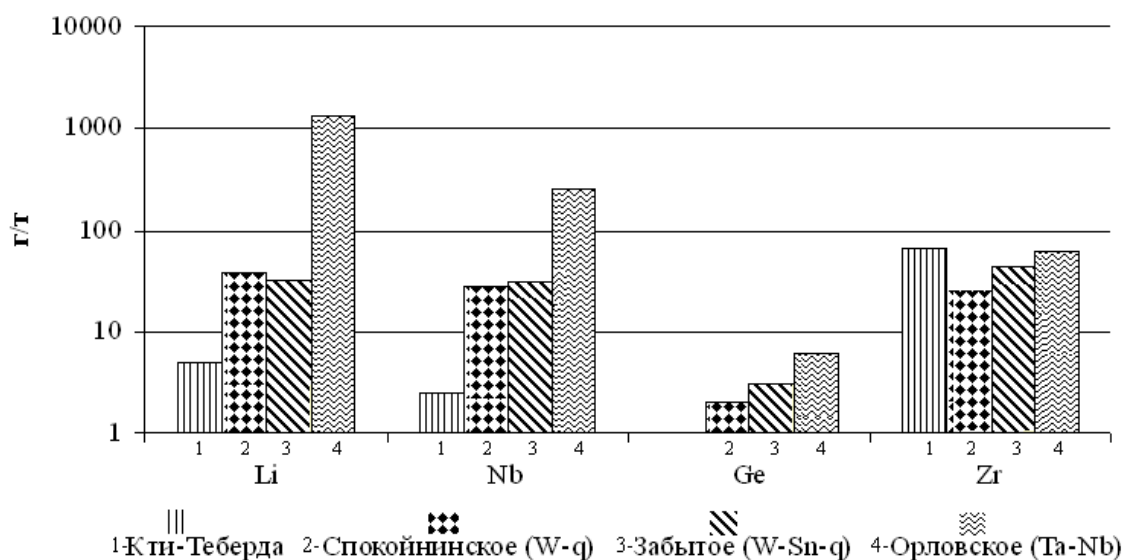


Рисунок 2. Содержание редких элементов в продуктивных комплексах месторождений вольфрама, олова, тантала.

Содержание мышьяка, висмута, сурьмы, вольфрама, иттрия приведены на рисунке 3. Содержания всех элементов, кроме иттрия, для всех рассматриваемых месторождений существенно выше кларка и поэтому отходы горного производства на этих объектах опасны для окружающей среды.

Однонаправленных изменений содержаний рассматриваемых элементов в ряду месторождений не наблюдается. Однако максимальные содержания типичны для гидротермалитов с шеелитом в амфиболитах Кти-Теберды, а минимальны для пегматитов Орловского месторождения. Содержания висмута возрастают в ряду месторождений вольфрама и уменьшаются в пегматитах Орловского месторождения. Содержание сурьмы, также, как, вольфрама и иттрия максимально в грейзенах Забытого.

Молибден, скандий, ванадий и иттрий в ряду рассматриваемых месторождений ведут себя неоднозначно. Содержания молибдена для всех месторождений выше кларка и максимальны они для Забытого, для которого вообще характерны высокие содержания рудных элементов.

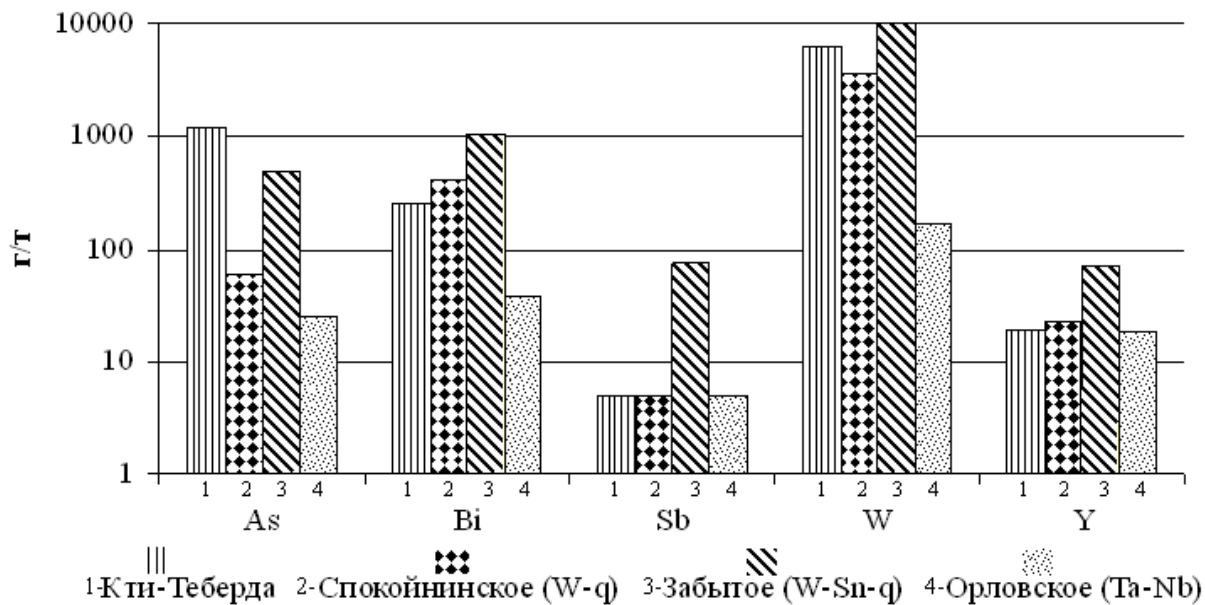


Рисунок 3 – Содержание редких элементов в продуктивных комплексах месторождений вольфрама, олова, тантала.

Содержания скандия, ванадия и иттербия для всех месторождений в этом ряду ниже кларка. Лишь по содержанию скандия, что типично для всех грейзеновых месторождений, незначительно выделяется Забытое. Содержания бериллия и галлия (рисунок 4) отличаются тем, что, за исключением Забытого, наблюдается четкий тренд возрастания содержания первого от существенно шеелитового месторождения в амфиболитах к пегматитам Орловского, что вполне закономерно. Содержания галлия не имеют видимой закономерности в связи с изоморфностью с алюминием, широко распространенном в полевых шпатах.

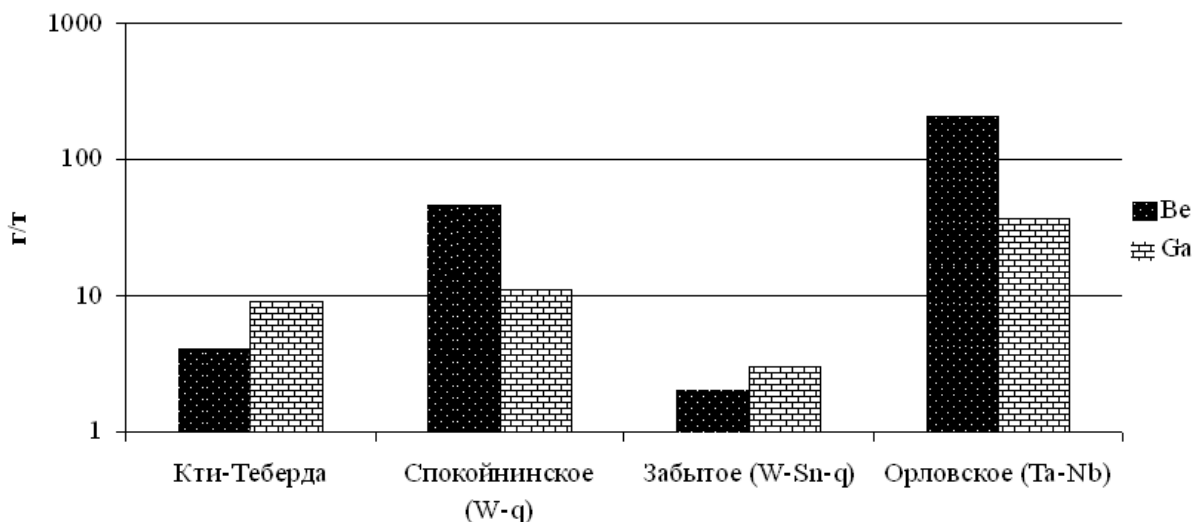


Рисунок 4. Содержания бериллия и галлия в продуктивных комплексах месторождения вольфрама, олова и тантала.

Таким образом, анализ распределения основных и примесных химических элементов в рядах типичных рудных формаций месторождений молибдена, вольфрама, олова и тантала показал следующее. Содержания сурьмы и молибдена имеют тенденцию к возрастанию в

ряду Спокойнинское → Александровское, а содержания вольфрама и висмута уменьшается. Важным фактором, определяющим распределение содержаний вольфрама, является его минеральная форма (шеелит, молибдошеелит, вольфрамит). Содержания ванадия и циркония максимальны в рудах Кти-Теберды, Жирекена и Бугдаи, имея абсолютный максимум для Бугдаи, относящейся к молибден-порфировому типу.

Содержания лития, ниобия и германия, имеют тенденцию к возрастанию в рассмотренном ряду от гидротермалитов в амфиболитах к пегматитам. При этом для германия и лития выявились средние содержания выше кларка. Исключение составляет Кти-Теберда.

Содержания мышьяка в целом имеют тенденцию к уменьшению, хотя для пегматитов и грейзенов Забытого оно выше, чем в грейзенах Спокойнинского. Содержания бериллия, висмута, сурьмы, вольфрама, для всех рассматриваемых месторождений существенно выше кларка и поэтому отходы горного производства на этих объектах опасны для окружающей среды.

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

2. Коры выветривания и зона окисления в ландшафтах горнорудных территорий

УДК 549.755.31:543.5

О метацейнерите Шерловогорского месторождения (Юго-Восточное Забайкалье, Россия)

Филенко Р.А.¹, Юргенсон Г.А.¹, Смирнова О.К.²

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, filrom@yandex.ru

² Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, meta@gin.bsnet.ru

Аннотация. Обобщены результаты исследования малораспространённого водного уранил-арсената меди – метацейнерита из зоны окисления Шерловогорского месторождения. Впервые проведено его комплексное изучение с применением термического, ИК-спектроскопического, микрозондового и рентгеноструктурного анализов.

Ключевые слова: Шерловая Гора, зона окисления, метацейнерит.

About the metazeunerite of the Sherlovogorsky deposit (Southeastern Transbaikalia, Russia)

Fileenko R.A.¹, Yurgenson G.A.¹, Smirnova O.K.²

¹ Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, filrom@yandex.ru

² Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia

Abstract. The results of a study of a sparsely distributed aqueous uranyl-arsenate of copper– metazeunerite from the oxidation zone of the Sherlovogorsky deposit are summarized. For the first time, its complex study was carried out using thermal, IR spectroscopic, microprobe and X-ray diffraction analyses.

Keywords: Sherlova Gora, oxidation zone, metazeunerite.

Шерловогорский рудный район находится на юго-востоке Забайкальского края в 24 км к северо-западу от города Борзя. Шерловогорская рудно-магматическая система, находящаяся в пределах этого района представляет собою уникальный геологический объект, сочетающий в себе крупные месторождения ювелирных камней, цветных и редких металлов [5].

Минералогия зоны окисления Шерловогорского рудного района изучалась многими исследователями. Список гипергенных минералов уже приближается к 110 минеральным видам из чуть более 200 известных на Шерлрвой Горе минералов [4]. Как показала практика, этот список требует некоторого уточнения и это успешно решается с применением комплекса современных методов изучения вещества. Так было выяснено, что Шерловогорские образцы из музейных коллекций с подписью ферримоллибдит на деле оказались бетпагдалитом-СаМg, а образцы с торбернитом при инструментальной диагностике оказались с метацейнеритом [4]. В ранее опубликованных списках также значились торбернит и цейнерит [3], но каких-либо диагностических признаков не приводилось.

В нашей Шерловогорской коллекции также находились образцы гипергенных минералов, которые изначально были диагностированы только визуально. Для более глубокого понимания процессов минералообразования в зоне окисления Шеловогоского месторождения необходимо было более детально изучить минералогию гипергенных минералов с применением различных аналитических методов исследования.

Образцы исследованы методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН – 3.0 (Центр коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН, г. Иркутск) со следующими условиями измерения: излучение – CuK α , Ni – фильтр, V= 25 кВ, I = 20 мА, в диапазоне 3–65°(2 θ), шаг сканирования – 0,05° (аналитик Т.С. Филёва).

При изучении порошковых препаратов гипергенных минералов применялся сканирующий электронный микроскоп LEO 1430VP (CarlZeiss, Германия) с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 (Oxford InstrumentsAnalytical Ltd.) в ГИН СО РАН. Условия съемки – 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 (аналитик Е.А. Хромова).

Инфракрасные спектры регистрировались в лаборатории ЗабГУ на спектрофотометре FTIR-8400S SHIMADZU, который регистрирует инфракрасные спектры пропускания исследуемых проб в диапазоне волновых чисел $4000-400\text{ см}^{-1}$, в таблетках KBr (оператор Д.А. Пузынин).

Синхронный термический анализ проводился на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия) в ИПРЭК СО РАН. Использовались платиновые тигли. Скорость нагрева во всех измерениях составляла $10^\circ\text{C}/\text{минуту}$. Масса исследуемых навесок – 10-20 мг.

Изучен образец метацейнерита $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ с маркировкой ШГ-15-Т (Т означал «торбернит») из отвалов новой выработки местных старателей на Мелехинской Сопке (GPS $\text{N}50^\circ32'54.45''$ $\text{E}116^\circ14'36.83''$). Другими исследователями образцы с метацейнеритом также отбирались на этом участке из так называемой «сыпучки» топазового грейзена.

Минерализация приурочена к обохренной зоне кварц-топазового грейзена с ферберитом. Здесь метацейнерит образует непрозрачные прямоугольные таблички и агрегаты размером 1-2 мм и ассоциирует со светло-зеленым флюоритом и голубоватым топазом. Более крупные выделения минерала образуются на поверхности трещин в виде слюдоподобных тонкочешуйчатых квадратные агрегаты изумрудного цвета размером 8-10 мм.

Рентгеноструктурным анализом (рисунок 1) исследуемого образца был диагностирован водный арсенат урана и меди – метацейнерит. Основные линии на дифрактограмме (d/n , [Å]): 8,78; 3,73; 4,37; 3,56; 3,29; 2,18.

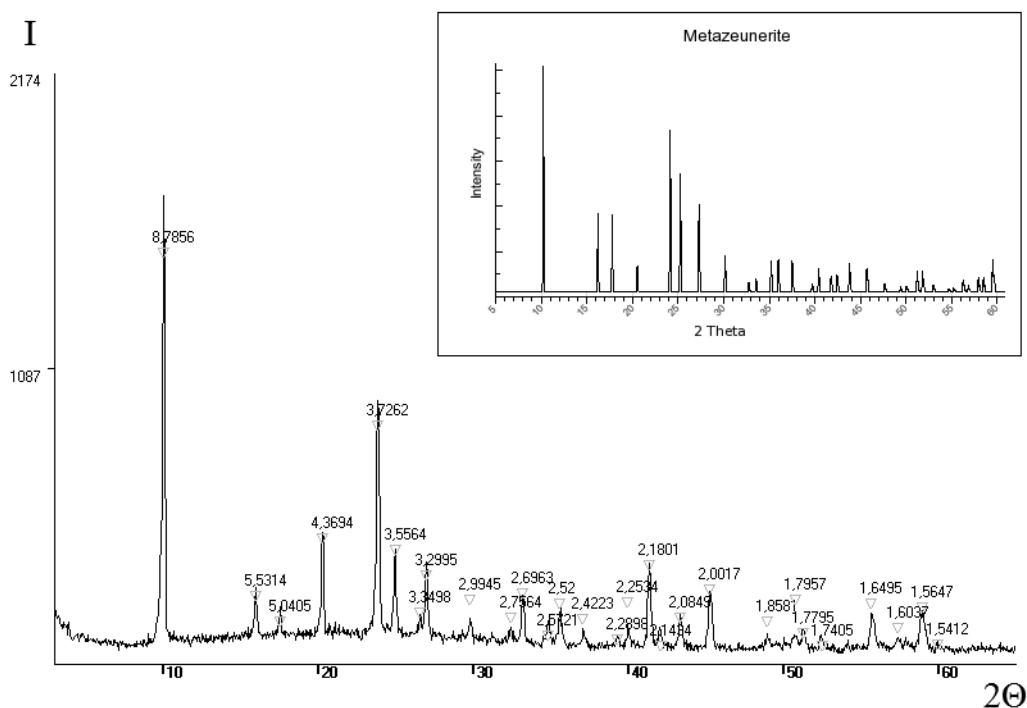


Рисунок 1. Дифрактограмма метацейнерита, образец ШГ-15-Т и из опубликованной базы данных.

Микронзондовые исследования (рисунок 2) показали, что состав образца метацейнерита близок к опубликованным данным по Шерловой Горе [4].

Химический состав метацейнерита (мас. %): CuO 8,05; As_2O_5 20,45; UO_3 57,42; H_2O 14,05, сумма 99,97. Вода рассчитана исходя из стехиометрии идеальной формулы.

В единичных точках исследования наблюдается присутствие в метацейнерите тория (до 1,7 %), замещающего уран (рисунок 3). Фосфора, замещающего мышьяк, наоборот, в нашем образце не обнаружено, хотя о его наличии говорится у других исследователей [4].

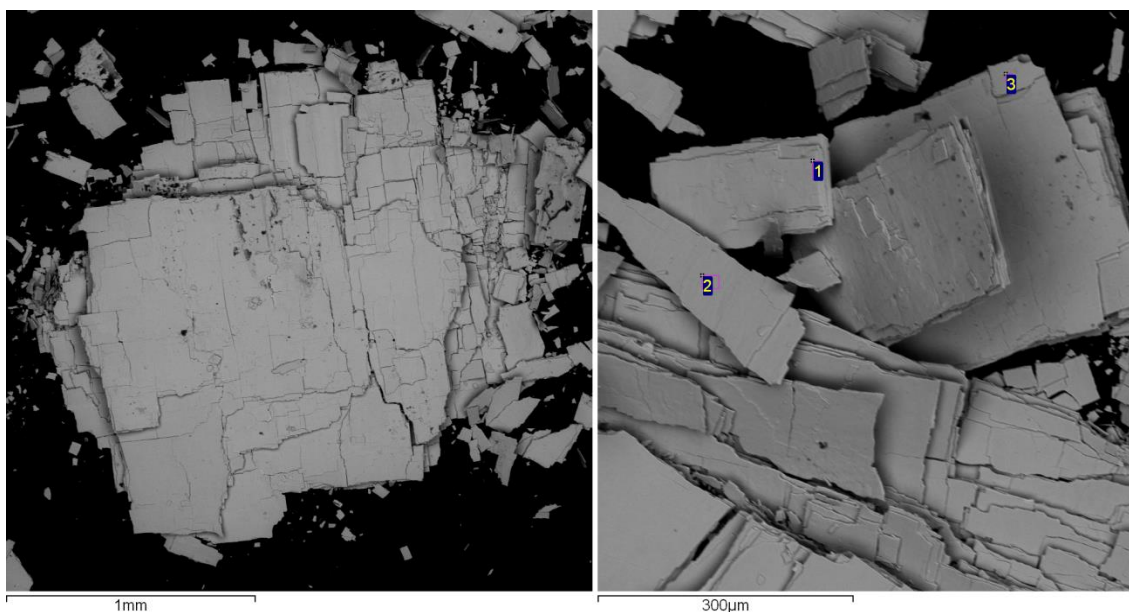


Рисунок 2. Поверхность спайности кристаллов метацейнерита Шерловой Горы. Съемка в режиме VP.

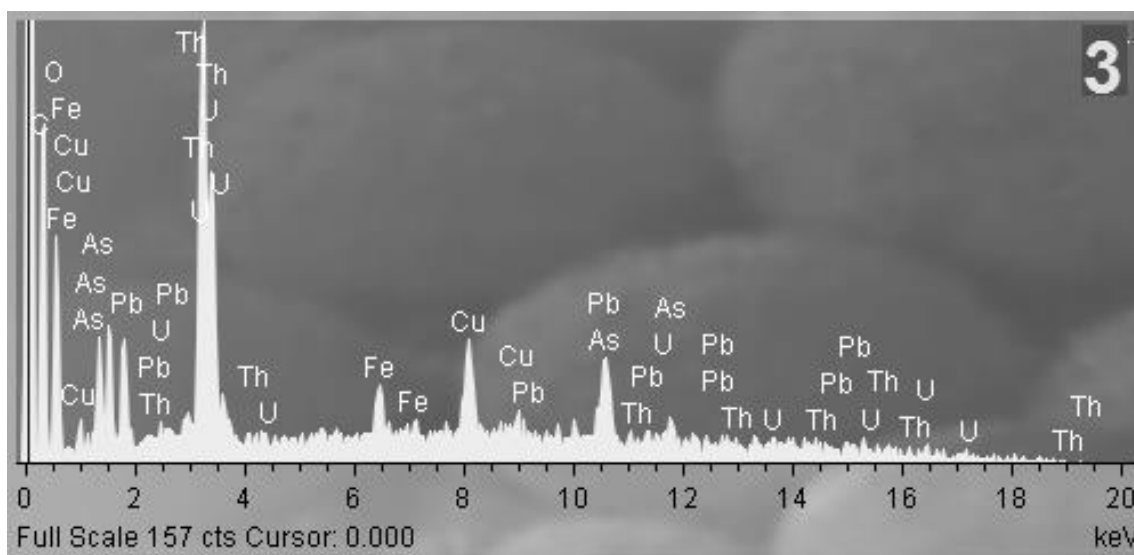


Рисунок 3. Элементный спектр метацейнерита Шерловой Горы (Обр. ШГ-15-Т).

ИК-спектр исследуемого метацейнерита показал хорошую сопоставимость с опубликованным спектром цейнерита [2]. На спектре четко видны полосы пропускания с максимумами 1647 , 2935 , 3302 cm^{-1} , обусловленными валентными колебаниями различно связанной воды в структуре минерала (рисунок 4). Остальные волновые числа максимумов полос на ИК-спектре: 1030 , 937 , 812 , 690 , 468 cm^{-1} .

Термический анализ показал близкую к расчетной потерю веса при дегидратации: фактическая потеря составила $13,48$ % против $14,05$ % теоретической (рисунок 5). ДСК-кривая в общих чертах сопоставима с опубликованными данными [1]. В интервале температур 40 - 200°C наблюдается три эндотермических пика с максимумами при 117 , 146 и 183°C (рисунок 5), одна молекула воды удаляется уже при 20 - 50°C , две молекулы при 50 - 75°C , еще две при 75 - 100°C и $2,5$ молекулы при 100 - 200°C . Оставшиеся $0,5$ молекулы воды удаляются постепенно в температурном интервале 200 - 400°C . Отмечено, что первые три молекулы имеют цеолитовый характер [1].

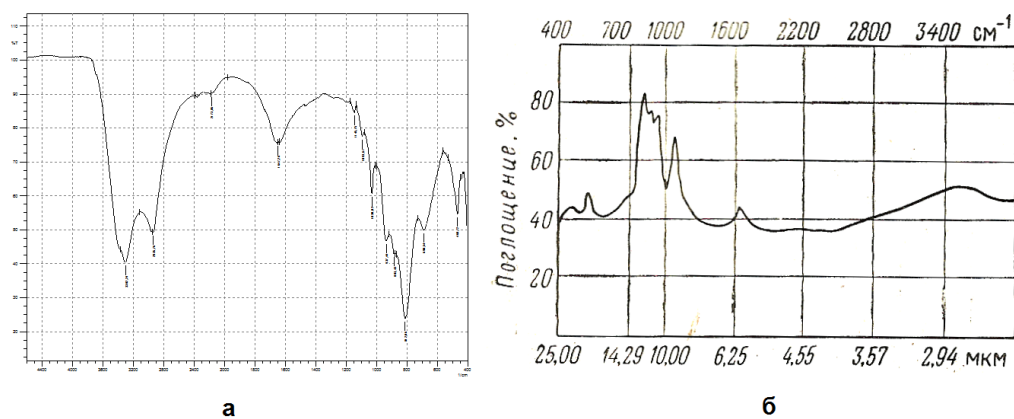


Рисунок 4. ИК-спектр метацейнерита Шерловой Горы (а) и опубликованный ИКС цейнерита (б).

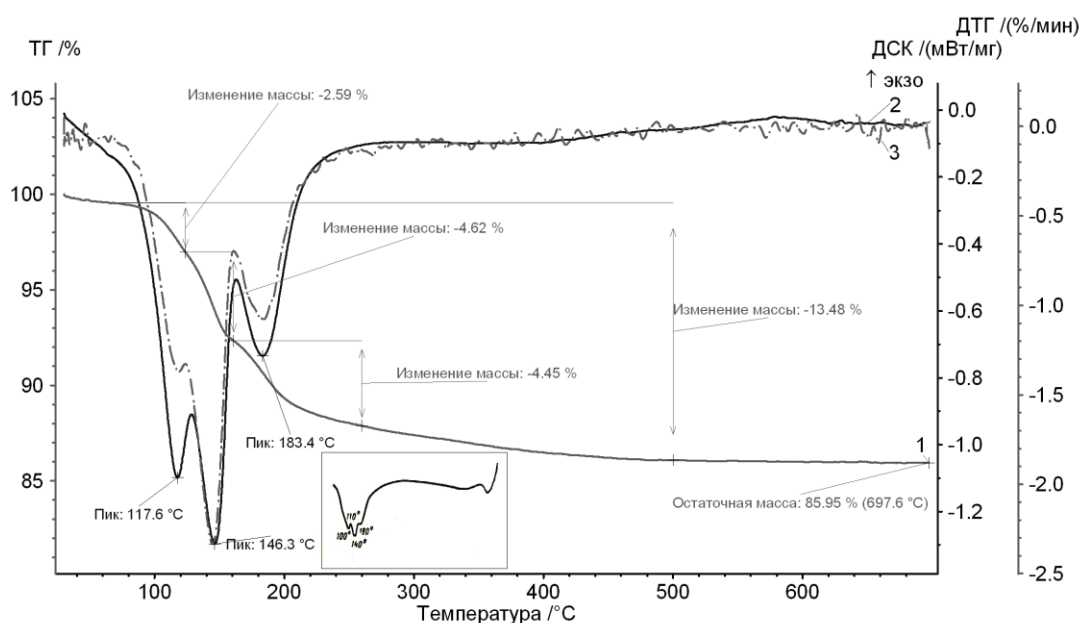


Рисунок 5. Термограмма метацейнерита Шерловой Горы и опубликованная ранее (внутри рисунка) [1]: 1 – ТГ-кривая; 2 – ДСК-кривая; ДТГ-кривая.

Таким образом, особенностью зоны гипергенеза Шерловогорской рудномагматической системы в её грейзеновой части является присутствие также уранил-арсенатной фазы, представленной метацейнеритом $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, что указывает на возможность присутствия и цейнерита, продуктом дегидратации которого в близповерхностных условиях и является сам метацейнерит. Наличие торбернита в силу общей обедненности шерловогорских пород фосфором маловероятно.

Авторы выражают благодарность Е.А. Хромовой (ГИН СО РАН) и Т.С. Филёвой (ИЗК СО РАН) за качественно проведенные аналитические работы с образцами минералов.

Библиографический список

1. Амбарцумян Ц.Л., Басалова Г.И., Горжевская С.А., Назаренко Н.Г., Ходжаева Р.П. Термические исследования урановых и урансодержащих минералов. – М.: Госатомиздат. 1961. – 148 с.
2. Болдырев А. И. Инфракрасные спектры минералов. – М.: «Недра», 1976. – 199 с.
3. Долманова Е.И. Свинцово-цинковая минерализация на некоторых касситерито-кварцево-сульфидных месторождениях Восточного Забайкалья // Труды ИГЕМ, 1963, вып.16. – С. 468-504.
4. Касаткин А.В., Клопотов К.И., Плашил Я. Гипергенные минералы Шерловой Горы // Минералогический Альманах, 2014. Т. 19. Вып. 2. – С. 94-137.
5. Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Забайкалья: Учебное пособие. Часть I. Черные и цветные металлы. – Чита: Поиск, 2006. – 256 с.

Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований по моделированию выщелачивания руд олова, вольфрама и золота

Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Еремин О.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, e-mail: apikur1@ya.ru

Аннотация. Выполнены экспериментальные исследования по выщелачиванию руд олова, вольфрама и золота. Изучена динамика процессов выщелачивания. Установлено, что в подвижное состояние в зоне гипергенеза наиболее интенсивно переходят химические элементы, входящие в состав сульфидов и сульфосолей: As, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni. Эти химические элементы участвуют в современном минералообразовании, продуктами которого являются сульфаты.

Ключевые слова: экспериментальное моделирование, сернокислотное выщелачивание руд, зона гипергенеза, миграция элементов, современное минералообразование.

Comparative analysis of experimental results of modeling leaching of tin, tungsten and gold ores

Epova E.S., Yurgenson G.A., Eremin O.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of RAS, Chita, Russia, e-mail: apikur1@ya.ru

Abstract. Experimental studies on leaching of tin, tungsten and gold ores have been carried out. The dynamics of the leaching processes have been studied. It is established that chemical elements consisting in sulfides and sulfosols (As, Zn, Pb, Cu, Cd, Ni) pass most intensively to mobile state in the hypergenesis zone. These chemical elements are involved in modern mineral formation, products of which are sulfates.

Keywords: experimental modeling, sulfuric acid leaching of ores, hypergenesis zone, migration of elements, modern mineral formation.

Введение. В период 2017-2019 годов проведены эксперименты по моделированию процессов сернокислотного выщелачивания кварц-топаз-вольфрамитовых рудоносных пород и оловополиметаллических сульфидных руд Шерловогорского месторождения, руд месторождений вольфрама Антонова Гора, Букука, а также золото-кварцевых руд месторождения Любовь по методике [1].

Материал, методы исследований. Для экспериментального моделирования сернокислотного преобразования использованы руды Шерловогорского оловополиметаллического месторождения и кварц-топаз-вольфрамитовые породы, месторождений вольфрама Антонова Гора и Букука, а также Любавинского золото-кварцевой формации. Минеральный состав руд изучен с использованием оптической поляризационной и электронной микроскопии.

Для проведения экспериментов выбраны усредненные по минеральному составу пробы. В качестве навески использовались дробленые образцы руды фракций $-1\div+0,5$ и $-3\div+2$ мм массой 40 г. Соотношение $t\divж=1\div10$. Экспериментальное моделирование преобразования руд под воздействием сернокислотных растворов $pH=2$, проводилось в фильтрационных колонках. Раствор подавался с постоянной скоростью ~ 4 мл/мин с помощью перистальтического насоса «Peristaltic pump type pp1-05» (Польша). После прохождения через навеску руды, фильтрат отбирался по 40 мл для проведения качественного и количественного анализа. Кислотность исходного ($pH=2$) и профильтрованного растворов определялась потенциометрическим методом с использованием pH -метра «Анион-7000» (Россия) с комбинированным электродом марки ЭСП10601/4. Полученные растворы анализировались методом масс-спектрометрии на спектрофотометре Perkin Elmer Optima 5300 DV (США) в аккредитованной лаборатории ЗАО «SGS Vostok Limited».

Результаты и их обсуждение. Химический состав руд всех месторождений по отношению к кларку земной коры по А.П. Виноградову показал значительные превышения концентраций следующих металлов и металлоидов (Zn, Sn, Pb, Cu, Cd, W, Mo, Cr, Bi, As, Sb), а также рассеянных элементов, в том числе лантаноидов и актиноидов (Be, Tl, Ge, In, Yb, Lu,

Тм). Горные породы грейзеновой формации отличаются более высокими содержаниями лантаноидов иттриевой группы.

Спектр и доля извлечения элементов, выщелачиваемых из кварц-топаз-вольфрамитовых грейзеновых пород значительно шире, чем из сульфидных руд, которые больше характеризуются извлечением преимущественно рудных элементов (Zn, Pb и т.п.) в результате кислотного преобразования сульфидов. В целом, минералы рудоносных горных пород реагируют с сернокислым раствором менее интенсивно, чем сульфиды, и, соответственно, извлечение химических элементов происходит более плавно и высокие их концентрации в фильтратах сохраняются длительное время.

В результате взаимодействия с сернокислотными растворами pH=2 активно извлекаются макрокомпоненты (Zn, Cu), микрокомпоненты (As, Sb, Sr, Pb, Cd, Co, Cs), торий, уран и лантаноиды. Динамика извлечения большинства элементов соответствует графикам на рисунке 1.

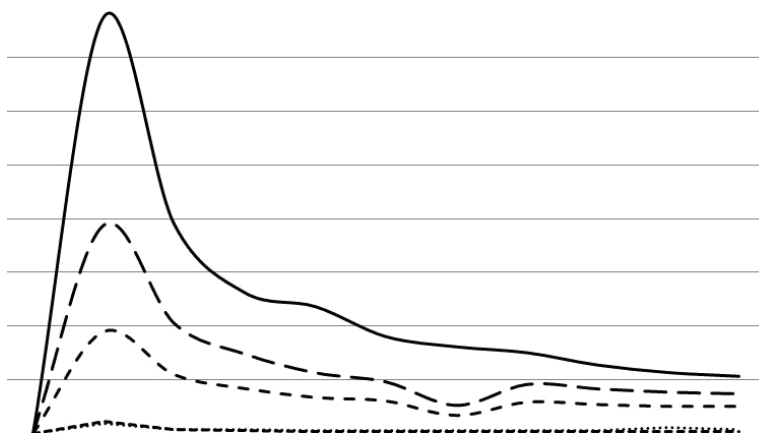


Рисунок 1. Динамика извлечения элементов из кварц-топаз-вольфрамитовых рудоносных пород Шерловогорского месторождения.

Изменение кислотности фильтрационных растворов в целом сопряжено с интенсивностью выщелачивания элементов (рисунок 2).

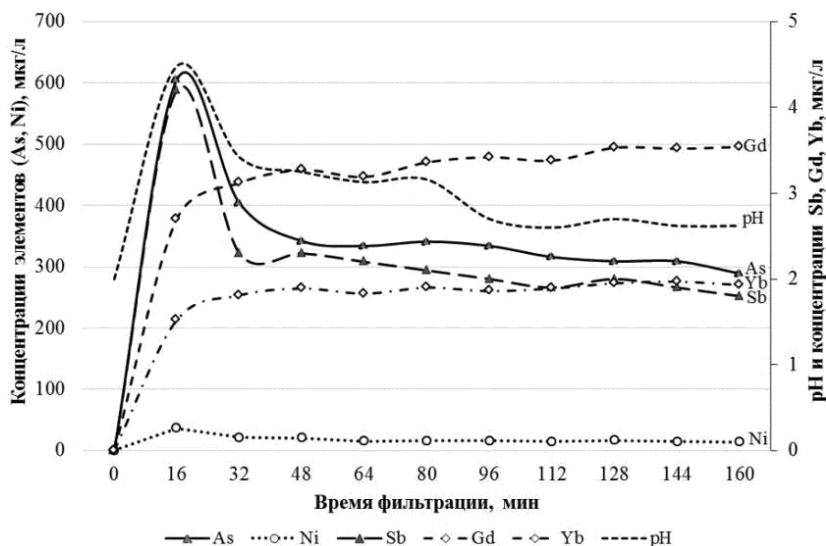


Рисунок 2. Значения концентраций элементов и кислотности (pH) в экспериментах по сернокислотному выщелачиванию руд месторождения Любовь.

В рудах месторождений Антонова Гора и Букука из макрокомпонентов превышают кларки (по А.П. Виноградову) рудные элементы – Cu, Zn, и W; из микрокомпонентов – Cd, Ge, Mo, Pb, Sn, Sc, Cr, In, Lu, Se и элементы V группы (As, Sb, Bi), для букукинских образцов характерно также превышение Be, Li, Cs, Rb, Te и незначительное преобладание Hf, Tl над

кларком. Кроме того, среднее содержание In в пробах руд Антоновой Горы в 3 раза больше кларка, в рудах Букуки на порядок выше.

Из руд Антоновой Горы извлекается значительно больше мышьяка (рисунок 3), чем из руд Букуки, а сурьмы и висмута наоборот (рисунок 4). В то время, как содержания As, Sb и Bi в рудах значительно превышает кларки, при этом их концентрации в рудах Букуки на порядки выше. Висмут также более интенсивно извлекается из руд Антоновой Горы. Можно предположить, что минеральные ассоциации Антоновой Горы включают висмут в более доступной форме, а в рудах Букуки легче выщелачиваются минералы, содержащие сурьму.

В целом, заметно, что концентрации элементов, извлеченных из руд меньшей крупности (-1÷+0,5 мм) значительно выше, нежели из крупно дробленых, что особенно хорошо прослеживается на диаграммах выщелачивания мышьяка и сурьмы. Динамика извлечения элементов V-ой группы из руд Антоновой Горы, свойственная и для большинства других макрокомпонентов, следующая: значительны содержания в первых порциях фильтрата и затем происходит снижение (рисунок 2), в то время как для руд месторождения Букука (рисунок 3) характерен не такой резкий всплеск в первых пробах и более плавное снижение с течением времени. Связано это, скорее всего, с более «податливыми» кислотным растворам минералам Антоновой Горы.

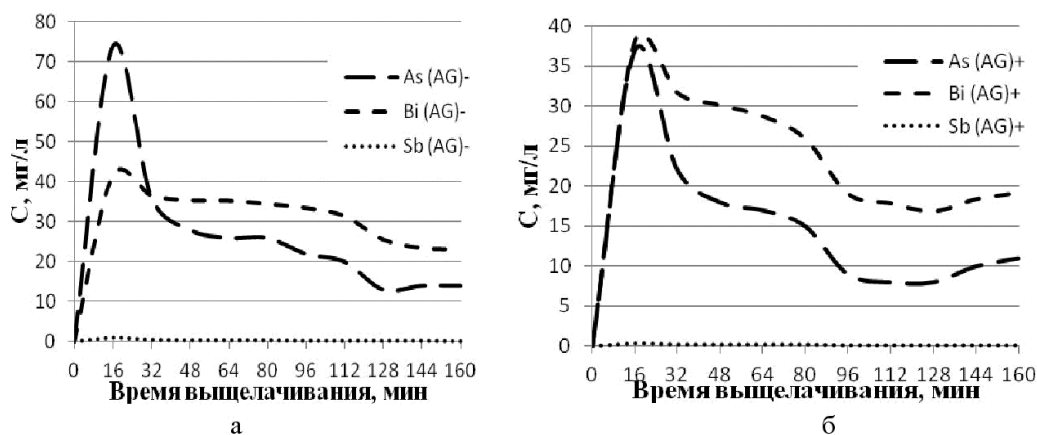


Рисунок 3. Динамика извлечения As, Sb, Bi из руд месторождения Антонова Гора разной крупности: а -1÷+0,5 мм, б -3÷+2 мм.

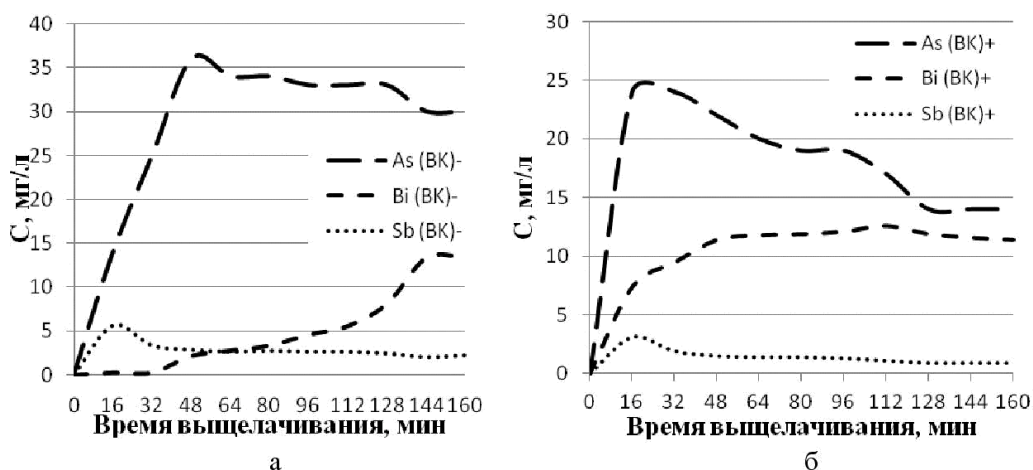


Рисунок 4. Динамика извлечения As, Sb, Bi из руд месторождения Букука разной крупности: а -1÷+0,5 мм, б -3÷+2 мм.

В результате экспериментов по переводу в миграционное состояние компонентов из малосульфидных руд Больше-Федоровского участка Любавинского рудного поля золото-тетрадимит-сфалерит-арсенопирит-кварцевого минерального типа, содержащих 0,1 до 2,1% сульфидов, содержащих примеси цериевого монацита, установлено, что относительно

высокой подвижностью характеризуются халькофилы (Pb, Zn, Cu, Cd, Sn) и элементы V группы Периодической системы (As, Sb и Bi). Sr, Cs, Cr, Co, W, Ge, Li также мигрируют в сульфатных растворах. Для редкоземельных элементов концентрации в фильтрационных растворах увеличиваются со временем от минимальных до стационарных значений.

Для сурьмы и висмута отмечена следующая закономерность: из вольфрамовых руд на 1-2 порядка больше извлекается висмута, чем сурьмы, и наоборот из сульфидсодержащих руд сурьмы переходит в подвижное состояние на 2-3 порядка больше, нежели висмута. Это хорошо коррелирует с их содержанием в рудах.

Исходя из полученных закономерностей извлечения элементов при фильтрации сернокислотными растворами, можно предположить, что достижение постоянных концентраций их выноса лимитируются процессами внутренней диффузии и (или) химических реакций внутри зерен твёрдых фаз.

Все выщелачиваемые элементы установлены в поверхностных водах месторождения и в составах новообразованных гипергенных минералов. Они оказывают наиболее значительное влияние на компоненты экологических систем геотехногенного ландшафта. Несмотря на незначительные содержания в рудных минералах редких и РЗЭ, их концентрации в водах рудного района значительно превышают фоновые уровни поверхностных вод.

Выводы. Основными химическими элементами, переходящими в миграционное состояние в условиях гипергенеза и определяющими экологическую опасность в ландшафтах горнопромышленных геосистем мышьяк, свинец, цинк, медь и кадмий независимо от рудно-формационной принадлежности рассмотренных месторождений.

Главными источниками этих элементов являются сульфиды и сульфосоли, входящие в состав руд.

Библиографический список

1. Эпова Е.С., Юргенсон Г.А., Ерёмин О.В. Экспериментальное моделирование процессов выщелачивания руд месторождения Любовь (Забайкалье) // Доклады Академии наук. 2019. Т. 486. № 4. – С. 469-474. DOI: 10.31857/S0869-56524864469-474.
2. Юргенсон Г.А. Минералы редких земель месторождения Антонова Гора (Восточное Забайкалье)// Геосферные исследования. 2022. № 1. – С. 68-76. DOI: 10.17223/25421379/22/4.
3. Юргенсон Г.А. Редкие земли в руде Букуинского месторождения вольфрама (Восточное Забайкалье) // Литосфера. 2021. Т. 21, № 1. – С. 90-102. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-1-90-102.

3. Минералого-геохимические процессы в природных и антропогенных ландшафтах. Современное минералообразование

УДК 550.424.6:542

Поведение тербия, диспрозия и гольмия в водной среде в присутствии гуминовых кислот

Борзенко С.В., Фёдоров И.А., Комогорцева И.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия

Аннотация. Изучено поведение диспрозия, гольмия и тербия в присутствии гуминовых кислот, с использованием методов ультрафильтрации, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, инфракрасной спектроскопии и термодинамических расчетов. Установлено, что доля редкоземельных элементов, связанных гуминовыми кислотами, снижается с увеличением pH. Ограничение подвижности лантаноидов в растворе объясняется образованием комплексов с гуминовыми кислотами и сорбционными процессами.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, гуминовые кислоты, комплексообразование, сорбция

Behavior of terbium, dysprosium, and holmium in an aqueous environment in the presence of humic acids

Borzenko S.V., Fedorov I.A., Komogortseva I.A.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia

Abstract. The behavior of dysprosium, holmium, and terbium in the presence of humic acids was studied using ultrafiltration, inductively coupled plasma mass spectrometry, infrared spectroscopy, and thermodynamic calculations. It was found that the proportion of rare earth elements bound to humic acids decreases with increasing pH. The limitation of lanthanoid mobility in solution is explained by the formation of complexes with humic acids, sorption processes, and the formation of poorly soluble hydroxides.

Keywords: rare earth elements, humic acids, complexation, sorption

В значительном количестве работ доказывается тот факт, что гидроксиды и карбонаты являются основными неорганическими комплексообразующими лигандами лантаноидов REE в природных водных средах (De Baar et al., 1991 и др.), но при этом не учитывается наличие в водах гумусовых веществ. Между тем, гумусовое вещество представляет собой большую часть коллоидной фазы природных вод, ограничивающей миграцию многих металлов в водах, в том числе REE, особенно элементов средней подгруппы MREE (от самария Sm до гольмия Ho). Основной целью нашего исследования является установление доказательства возможности комплексообразования MREE с гуминовыми кислотами при разных значениях pH в присутствии производных угольной кислоты (CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-}). В связи с этим задачи исследования включали изучение поведения лантаноидов средней подгруппы на примере тербия Tb, диспрозия Dy и гольмия Ho в водных средах в модельных растворах с применением комплекса инструментальных, физических и расчетных методов.

Методология и методы исследования

В качестве методологического приема в настоящей работе использован подход, основанный на сравнительном анализе результатов термодинамических расчетов, физических и химико-аналитических методов исследования воспроизведенных в лабораторных условиях гидрогеохимических систем с матричным составом подобным природным водам.

В рамках эксперимента по изучению геохимических особенностей поведения REE были приготовлены растворы с различными вариациями pH и содержания матричных компонентов при постоянных значениях концентрации лантаноидов. Такой подход объясняется тем, что при изучении распределения REE в природных водах обнаружилось различное их поведение, особенно выделялась подгруппа MREE, содержания элементов

которой находилось в зависимости от количества в водах органического вещества и производных угольной кислоты (Борзенко и др., 2017).

Для эксперимента было приготовлено два матричных раствора, содержащих HA и NaHCO_3 («х.ч.») в разных концентрациях. Эти вещества растворялись в растворе NaOH («х.ч.») (1 моль/л) в ходе 6 часового перемешивания с помощью магнитной мешалки. Внесение разных количеств HA и NaHCO_3 обусловлено тем, что в природных водах чаще по мере увеличения содержания NaHCO_3 растет pH вод, параллельно накапливается и гумусовое вещество.

Далее были сформированы две партии растворов в восьми полиэтиленовых контейнерах объемом 100 мл путем смешения матричных растворов с раствором MREE. Первая партия растворов содержала: HA – 3,46 мг/л; NaHCO_3 – 840 мг/л; а вторая HA 19,04 мг/л и NaHCO_3 – 4200 мг/л. Концентрации солей MREE в обеих партиях была одинакова и составляла 0,114 мг/л ($\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$), 0,115 мг/л $\text{Ho}(\text{NO}_3)_3$ и 0,955 мг/л (TbCl_3), а соответственно концентрация MREE – 0,05 мг/л (Dy и Ho) и 0,57 мг/л Tb. После чего конечные модельные растворы в количестве 8 штук были сформированы путем подкисления или подщелачивания растворами HNO_3 (0,2 моль/л, 1 моль/л) и NaOH (0,1 моль/л), до значений pH 4, 6, 8 и 11. Водородный показатель измерялся комбинированным электродом на анализаторе жидкости Эксперт 001-3-0.1 (ООО Эконикс-Эксперт, Россия), который был откалиброван стандартными буферными растворами рабочих эталонов pH 2-го разряда с номинальными значениями 3,56; 4,01; 6,86; 9,18 и 12,43. Точность измерения составила $\pm 0,05$ ед. pH. Далее модельные растворы перемешивались в течение 1 часа и отстаивались в течение 96 ч. Затем половина полученного объема каждого из растворов подвергалась ультрафильтрации через мембранные фильтры с размером пор 0,1 мкм марки «Владипор» на приборе для вакуумного фильтрования ПВФ-47/3НБ с узлом ресиверов. В профильтрованных и нефильтрованных растворах определялась массовая концентрация MREE методом ICP-MS с применением масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой NexION 300D (PerkinElmer Inc., США) с использованием в качестве стандарта сертифицированного раствора Multi-Element Standard MES110901A, (PerkinElmer). Отделенные ультрафильтрацией осадки HA и исходный эталон, взятый для эксперимента, были изучены методом ИК-спектроскопии на инфракрасном Фурье спектрометре FTIR-8400S (Shimadzu, Япония) в таблетках с KBr. В результате ультрафильтрации на фильтре остаются HA и их комплексные соединения с металлами.

Возможность образования комплексов REE с HA и неорганическими лигандами (производными угольной кислоты, гидроксидами, хлоридами и нитратами) проверялась с использованием программного комплекса MINTeq версия 3.1 со встроенной базой данных констант устойчивости комплексов металлов с гумусовым веществом SHM (Stockholm Humic Model). Модель используется для оценки металло-гуминового комплекса, в том числе и с редкоземельными элементами. Одним из достоинств модели SHM является возможность использования, как водных растворов гумусовых веществ, так и их твердой фазы.

Результаты исследования

Результаты исследования по содержанию MREE в разных средах методом ICP-MS представлены в таблице 1.

Отличия содержания MREE полученных методом ICP-MS от их количества в анализируемых навесках солей объясняется разбавлением растворов в результате доведения до определенного значения pH и погрешностью метода измерений. В соответствии с данными, полученным методом ICP-MS, в двух сравниваемых партиях растворов до фильтрации и после нее количество MREE заметно снизилось в фильтратах с разным отношением концентраций $C_{\text{MREE}}:C_{\text{HA}}:C_{\text{NaHCO}_3}$. Согласно выше указанным работам снижение концентрации MREE в фильтрате обусловлено многими процессами, в том числе комплексообразованием, сорбцией, образованием слаборастворимых солей и др.

Для установления факта связывания MREE гуминовыми кислотами было выполнено ИК-спектроскопическое исследование отделенных ультрафильтрацией осадков и исходного

препарата НА. На ИК-спектре исходного эталона препарата НА присутствовала полоса поглощения при частоте колебаний 1724 см^{-1} , свойственная карбонильной группе, которая может быть представлена альдегидами, кетонами и карбоновыми кислотами (Орлов, 1990). Также наблюдается полоса в области 1643 см^{-1} , отвечающая антисимметричным валентным колебаниям карбоксилат-аниона. Интенсивность данных полос поглощения относительно одинакова, что может свидетельствовать о приблизительно равном количестве свободных и ионизированных карбоксильных групп в гуминовых кислотах.

Таблица 1

Содержание MREE в модельных растворах до и после ультрафильтрации по результатам ICP-MS (мг/л)

pH	Образец	Tb	Dy	No	Tb	Dy	No
		Первая партия			Вторая партия		
4	До фильтрования	0,333	0,038	0,040	0,347	0,041	0,041
	Фильтрат	0,213	0,025	0,027	0,228	0,027	0,027
6	До фильтрования	0,298	0,035	0,036	0,315	0,037	0,037
	Фильтрат	0,222	0,026	0,027	0,213	0,025	0,025
8	До фильтрования	0,319	0,038	0,038	0,298	0,038	0,039
	Фильтрат	0,282	0,033	0,034	0,240	0,032	0,033
11	До фильтрования	0,350	0,041	0,041	0,335	0,039	0,038
	Фильтрат	0,241	0,028	0,030	0,220	0,028	0,030

При изучении ИК-спектров, полученных осадков НА в результате эксперимента с исходным препаратом, наблюдается смещение полосы поглощения карбонильной связи (1724 см^{-1}) в область $1750\text{--}1740\text{ см}^{-1}$, поскольку положение данной полосы сильно зависит от эффектов сопряжения, заместителей, водородных связей (Орлов, 1990), изменяющихся в силу вариаций условий эксперимента. Увеличение концентрации НА при том же количестве MREE и изменениях величины pH приводит к закономерному усилению интенсивности полосы в области $1750\text{--}1740\text{ см}^{-1}$. В то же время интенсивность полосы $1644\text{--}1641\text{ см}^{-1}$ по отношению к интенсивности полосы $1750\text{--}1745\text{ см}^{-1}$ остаётся прежней.

Данное обстоятельство позволяет предположить, что эта полоса поглощения ($1644\text{--}1641\text{ см}^{-1}$), как и в случае эталона НА, отвечает карбоксилат-аниону образовавшихся соединений НА и MREE после введения последних в модельную систему. Присутствие MREE значительно не влияет на положение данной полосы, но изменяет её вид – из широкой в случае спектра эталона НА, она становится узкой, сохраняя интенсивность и вид при прочих вариациях эксперимента. Это совпадает с тем, что лантаноиды, благодаря высокому координационному числу трёхзарядных ионов с карбоновыми кислотами, образуют разнообразные по структуре прочные карбоксилатные комплексы с лигандами одной природы. Согласуется это также и с выводами других авторов, изучавших образование комплексов НА–Ln (Ln – лантаноиды). В работе (Волков, 2016) указывается на подтвержденный факт, что карбоксильные группы являются основными центрами комплексообразования в НА для Ln^{3+} в природных водах рек и грунтовых вод, богатых органическими веществами. С учетом этого становится понятным, что при изменении условий (pH, концентрации, ионного окружения) полоса поглощения в диапазоне частот $1644\text{--}1641\text{ см}^{-1}$ значительно не изменит своего положения и интенсивности, что можно считать подтверждением прочного связывания гуминовыми кислотами MREE в условиях настоящего эксперимента.

Кроме того, автором (Попов, 2004) указывается на образование стабильных комплексов гидроксильными спиртовыми и фенольными группами НА. На всех полученных ИК-спектрах наблюдается широкая полоса поглощения в области $3450\text{--}3390\text{ см}^{-1}$, что показывает наличие межмолекулярных водородных связей в изучаемых структурах (Орлов, 1990). В условиях настоящего эксперимента однозначная идентификация образования соединений фенольными и спиртовыми гидроксильными группами с металлами невозможна, т.к. полоса поглощения валентных колебаний свободных OH-групп ($3700\text{--}3584\text{ см}^{-1}$) уменьшается за

счет образования водородных связей. Таким образом, ИК-спектрометрический метод подтверждает возможность образования соединений MREE с гуминовыми кислотами.

Для того чтобы разобраться в какой форме находятся Tb, Dy, Ho в растворах были проведены термодинамические расчеты (таблица 2).

Таблица 2

Основные формы миграции MREE (мол. %) в модельных растворах по MINTEQ

Форма миграции / Migration form	Первая партия / The first series				Вторая партия / The second series			
	pH = 4	pH = 6	pH = 8	pH = 11	pH = 4	pH = 6	pH = 8	pH = 11
Tb ³⁺	58,3	3,2	<0,1	<0,1	2,5	0,2	<0,1	<0,1
TbHCO ₃ ²⁺	1,5	4,2	<0,1	<0,1	<0,1	1,0	<0,1	<0,1
Tb(CO ₃) ₂ ⁻	<0,1	1,3	36,5	58,1	<0,1	1,0	32,2	45,2
TbCO ₃ ⁺	0,1	14,5	4,213	0,1	<0,1	2,5	0,8	<0,1
HA-Tb	40,1	76,9	59,2	41,8	97,4	95,4	66,9	54,8
Dy ³⁺	56,6	2,7	<0,1	<0,1	1,6	0,2	<0,1	<0,1
DyHCO ₃ ²⁺	1,6	4,6	<0,1	<0,1	<0,1	1,0	<0,1	<0,1
Dy(CO ₃) ₂ ⁻	<0,1	1,7	43,2	63,2	<0,1	1,2	36,6	46,3
DyCO ₃ ⁺	0,1	18,0	4,7	0,1	<0,1	2,9	0,9	<0,1
HA-Dy	41,7	73,1	52,1	36,7	98,3	94,6	62,5	53,6
Ho ³⁺	54,3	2,6	<0,1	<0,1	1,5	0,2	<0,1	<0,1
HoHCO ₃ ²⁺	1,4	4,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	<0,1
Ho(CO ₃) ₂ ⁻	<0,1	2,0	46,6	62,9	<0,1	1,3	37,3	43,2
HoCO ₃ ⁺	0,1	17,2	4,0	0,1	<0,1	2,5	0,7	<0,1
HA-Ho	44,2	74,0	49,4	37,0	98,5	95,2	62,0	56,7

Согласно расчетам значение активности комплексных соединений MREE с хлорид- и нитрат-относительно низкое ($>10^{-12}$) на всем диапазоне pH и содержаний основных анионов. Анализ данных показал, что в первой партии растворов в наиболее кислой среде MREE присутствуют преимущественно в виде Ln³⁺, на долю органического комплекса в среднем приходится 41,3 мол. % с максимальной концентрацией для соединений HA-Ho. Дальнейшее увеличение pH раствора до 6 приводит к доминированию доли гуминового ассоциата HA-Ln с максимумом содержания для HA-Tb. С подщелачиванием раствора в значительных количествах образуются карбонатные комплексы лантаноидов с максимальным их содержанием при pH = 11 в первой экспериментальной партии. При этом соотношение между органическими и неорганическими соединениями для каждого в отдельности MREE различно. Такое разное поведение лантаноидов обусловлено тем, что они являются элементами-гидролизатами, при этом первый элемент группы лантаноидов лантан La гидролизуются при pH = 8, а последний в этом ряду – лютеций Lu – при pH = 6,2 (Дубинин, 2004). Отсюда в одних и тех же средах наблюдается разная устойчивость комплексов в ряду Tb-Dy-Ho.

Согласно термодинамическим расчетам в кислой среде ассоциат типа HA-Ln конкурирует с аква ином Ln³⁺, а в щелочной с Ln(CO₃)₂⁻. При этом с ростом концентрации HA и HCO₃⁻ при неизменных концентрациях MREE в растворе с pH = 4 соотношение содержания C_{Ln3+}: C_{HA-Ln} существенно меняется в пользу органического ассоциата, доля которого постепенно снижается с ростом pH раствора. Относительное количество карбонатных ассоциатов остается ниже, чем в эксперименте с первой партией.

Высокая степень комплексообразования MREE с HA может быть объяснена депротонированием карбоновых и фенольных поверхностных групп HA, что является классической особенностью комплексообразования ионов металлов гуминовыми кислотами.

В отношении карбонатных комплексов отчетливо проявляется зависимость концентрации LnCO₃⁺ и Ln(CO₃)₂⁻ от pH раствора. Концентрация LnCO₃⁺ снижаются с увеличением pH,

тогда как $\text{Ln}(\text{CO}_3)_2^-$, напротив, увеличивается. Согласно термодинамическим расчетам с увеличением содержания НА и рН раствора количество сорбированных MREE возрастает.

Выводы

Изучено поведение лантаноидов средней подгруппы (Тб, Ду и Но) в водных средах на модельных растворах с применением комплекса инструментальных, физических и расчетных методов. Эксперименты по комплексообразованию НА-Ln проводились при различных рН условиях (от 4 до 11), содержаниях гуминовых кислот и производных угольной кислоты. Различие в поведении MREE в ряду Тб–Ду–Но определяется как строением их атомов, так и свойствами гуминовых кислот и кислотнo-щелочными условиями среды, содержанием гуминовых кислот и карбонат-ионов.

Полученные экспериментальные данные показали, что ограничение подвижности лантаноидов в растворе связано с возможностью образования комплексных соединений с гуминовыми кислотами, сорбцией на твердые частицы и их соосаждением с твердой фазой НА.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме № FUFР-2021-0006 «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза, основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов».

Библиографический список

1. Борзенко С.В., Замана Л.В., Зарубина О.В. Распределение редкоземельных элементов в водах и донных осадках минеральных озер Восточного Забайкалья (Россия) // Литология и полезные ископаемые. 2017. № 4. – С. 306-321.
2. Волков И.В. Реакции микроэлементов с гуминовыми кислотами как основа сорбционной дезактивации и очистки техногенных отходов: автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Екатеринбург, 2016.
3. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане // Литология и полезные ископаемые. 2004. Т. 4. – С. 339-349.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: МГУ, 1990. – 325 с.
5. Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. – СПб.: СПбГУ, 2004. – 248 с.
6. De Vaar H.J.W., Schijf J., Byrne R.H. Solution chemistry of the rare earth elements in seawater // European Journal of Solid State and Inorganic Chemistry. 1991. Vol. 28. – P. 357–373.

**Химические элементы в системах «рудничные воды – донные отложения – биоматы»,
«рудничные воды – почвы – растения» территории разгрузки рудничных вод
сульфидно-вольфрамового месторождения**

Дорошкевич С.Г., Смирнова О.К., Чередова Т.В.

Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия, dorosh@ginst.ru

Аннотация. Проведена оценка состояния рудничных вод, донных осадков, биоматов, почв и растений на участке, дренируемом рудничными водами сульфидно-вольфрамового месторождения. Показано, что кислые рудничные воды являются основным источником загрязнения окружающей территории рядом химических элементов - S, F, Fe, Ni, Co, Zn, Cu, Pb, Cd, Sb и As. Установлено, что почвы и растения территории, дренируемой рудничными водами по показателю суммарного загрязнения относятся к сильно загрязненным. В биоте территории разгрузки рудничных вод концентрируются потенциально токсические химические элементы, характерные для данной геохимической обстановки.

Ключевые слова: рудничные воды, донные отложения, биота, почвы, сульфидно-вольфрамовое месторождение.

**The chemical elements in the systems «mine waters - bottom sediments – biomats»,
«mine waters - soils – plants» of the territory of discharge of mine waters of the
sulfide-tungsten deposit**

Doroshkevich S.G., Smirnova O.K., Cheredova T.V.

Dobretsov Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia, dorosh@ginst.ru

Abstract. The assessment of the state of mine waters, bottom sediments, biomates, soils and plants in the area drained by the mine waters of the sulfide-tungsten deposit was carried out. Acid mine waters are the main source of pollution of the surrounding area by a number of chemical elements - S, F, Fe, Ni, Co, Zn, Cu, Pb, Cd, Sb and As. Soils and plants of the territory drained by mine waters are classified as highly polluted in terms of total pollution. Potentially toxic chemical elements characteristic of this geochemical situation are concentrated in the biota of the mine water discharge area.

Keywords: mine waters, bottom sediments, biota, soils, sulfide-tungsten deposit.

В районах разработки месторождений полезных ископаемых активизируются процессы горнопромышленного техногенеза, сопровождающиеся изменением миграционных циклов вещества в геосистемах. В результате вскрытия горными выработками водоносных горизонтов образуются потоки рудничных вод, в которых формируются токсичные для компонентов окружающей среды концентрации различных химических элементов. Настоящее исследование проведено на территории разгрузки рудничных вод штольни Западная (Холтосонское вольфрамовое месторождение) с целью установления особенностей миграции химических элементов в системах рудничные воды – донные отложения – сообщества микроорганизмов и водорослей (биоматы), рудничные воды – почвы – растения.

Холтосонское вольфрамовое месторождение (Западное Забайкалье) является одним из наиболее крупных месторождений жильного типа в России. Представлено серией гюбнерит-сульфидно-кварцевых жил. Разведано до глубин 600-650 м. Содержание в руде основного компонента (WO_3) варьирует от 0.42 до 1.10 %. Содержание попутных компонентов составляет (%): 0.02-0.56 Pb; 0.04-0.38 Zn; 0.03-0.17 Cu; 0.003-0.01 Bi; 0.02-0.05 Be; 4.2-7.6 F; до 175 г/т Ag; до 4 г/т Au. Кроме того, в рудах отмечены повышенные концентрации элементов 1 и 2 классов опасности: Cd, Co, Ni и Cr [1]. Месторождение разрабатывалось с начала 30-х годов прошлого столетия. Подземными горными выработками вскрыто на глубину 540 м. Верхние горизонты промышленных жил уже отработаны. На средних и нижних горизонтах в начале 1990-х годов велись эксплуатационные работы. В 1997 г. месторождение законсервировано.

Пробы воды и биоматов отбирались из рудничных ручьев штольни: в месте их выхода на поверхность и в месте впадения в р. Модонкуль, донные отложения – из рудничных ручьев штольни в месте их выхода на поверхность. Отбор проб почв для определения их химического состава проводился по генетическим горизонтам на участке, дренируемом

рудничными водами, в 300-700 м от устья штольни. Пробы растений отбирались в точках опробования почв. Для сравнительной характеристики был выбран фоновый участок – пойма р. Модонкуль, выше по течению от впадения в нее рудничных вод.

Содержание химических элементов в пробах воды, растений и биоматов определялось методом ICP-MS, в почвах и донных отложениях – химико-спектральным и рентгенофлюоресцентными методами анализа. Аналитические исследования выполнялись в ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН и Хабаровском инновационно-аналитическом центре.

Рудничные воды характеризуются кислой реакцией (рН 3.17-4.95) в месте выхода их из штольни и слабокислой-нейтральной (рН 5.23-6.89) – в месте впадения в р. Модонкуль. Они имеют высокую общую минерализацию (2226-4153 и 193-1679 мг/дм³, соответственно). Содержат ураганные количества химических элементов, значительно превышающие предельно допустимые концентрации веществ для водных объектов хозяйственно-питьевого водопользования и для рыбохозяйственных водных объектов: Cd – до 1260 и 252 раз, Fe – до 103 и 310 раз, Pb – до 81 и 103 раз, Zn – до 64 и 6440 раз, Cu – до 35 и 34600 раз, As до 12 раз, Co – до 8.5 и 85 раз, Ni – до 5 и 47 раз, соответственно.

Донные осадки рудничных ручьев также характеризуются высокими содержаниями потенциально токсичных элементов. Выше ОДК(ПДК) – S (до 263 раз), Cu (до 22 раз), Pb (до 15 раз), Zn (до 2,5 раз), Cd (до 6,5 раз) и Sb (до 3 раз); выше фоновых значений отмечены содержания F (до 90 раз), Fe (до 6 раз) и Mo (до 4,5 раз).

В почвах, дренируемых рудничными водами, Fe и Mo содержатся в количествах ниже фоновых значений. Для F, Ni, Co, Pb и Sb отмечается незначительное превышение фона (в 1.1-1.7 раз). Cu, Zn и Cd содержатся в количествах в 1.1, 2.0 и 3.9 раз превышающих ОДК, соответственно. В почвах, в сравнении с донными отложениями, концентрации Pb снижены. Показатель суммарного загрязнения почв находится в пределах от 29.3 до 59.7, что соответствует, в среднем, сильному загрязнению почв участка, дренируемого рудничными водами в сравнении с фоном (рисунок 1).

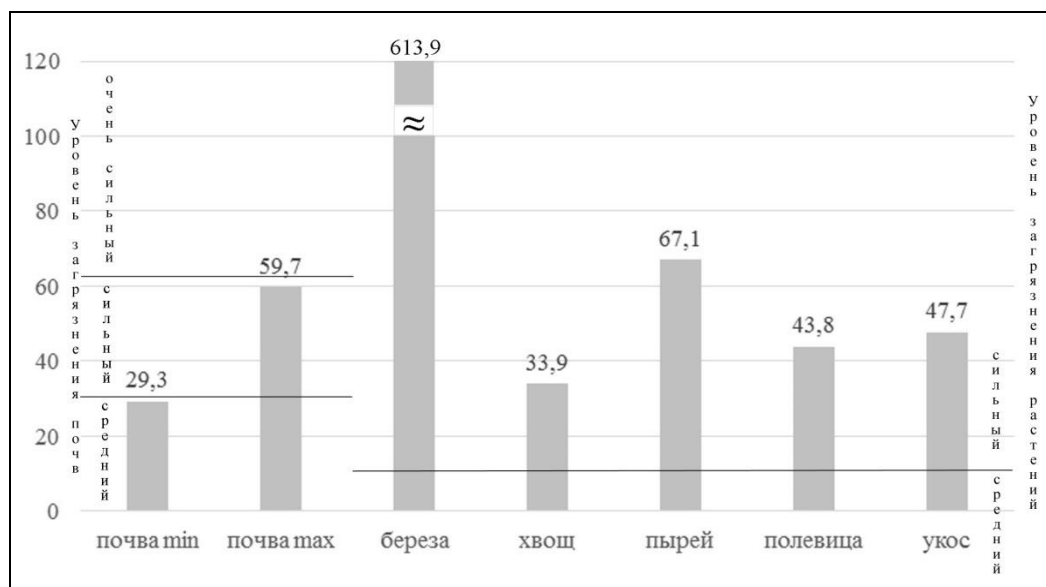


Рисунок 1. Показатель суммарного загрязнения (Zc) почв и растений на участке, дренируемом рудничными водами.

В растениях на территории, дренируемой рудничными водами, содержание Mo, As и Sb не превышает среднего содержания в растениях мира [2]. Концентрации Mo и Co зафиксированы выше фоновых значений. Во всех растениях установлены также превышения максимально допустимого уровня (МДУ) содержания химических элементов: Cd – в 6.1-114.7 раза, Zn – в 2.9-24,7 раза. В листьях березы содержание Cu и Pb выше МДУ в 1.3 и 1.1 раза, соответственно. Показатель суммарного загрязнения растений находится в пределах от 33.9 до 613.9, что соответствует сильному уровню загрязнения (см. рисунок 1).

В биоматах выявлено превышение фоновых значений (по среднему содержанию): Ni, Sr, Mg, Mn, Cd, Al, Cr, Sn – в 1.7-4.8 раза; Co, Bi, Mo, Ti, La, Na – в 5.7-8.1 раза; Pb, Zn, Ce, Sb, W – в 10-12 раз; Fe и Be – в 43-44 раза; Cu – в 68 раз. Кроме того, химический состав микробных сообществ техногенных ландшафтов дифференцируется в зависимости от ассоциирующей субстанции. Так, самое высокое содержание Fe и Pb отмечается в биоматах с охристой субстанцией; Al, Cu, Zn, Be и Cd – с белесой субстанцией; Cr, Ni, Rb, P, K, Na и Ti – с зеленовато-желтой субстанцией. Содержание W, Mo и Bi в биоматах с охристой и зеленовато-желтой субстанцией находятся приблизительно в равных количествах.

Качественный химический анализ (рисунок 2) показал, что в микробных сообществах природных обстановок происходит характерное накопление Ca. Данный элемент влияет на доступность для биоты ряда макро- и микроэлементов, способствует поглощению важных элементов питания, регулирует водный баланс.

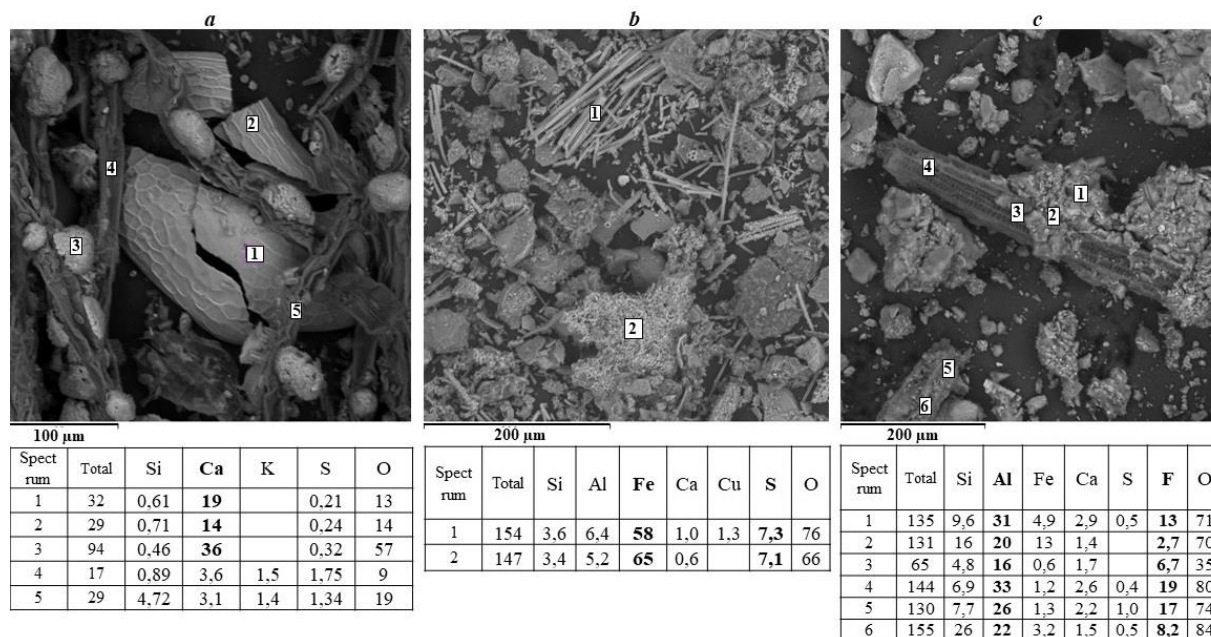


Рисунок 2. Внешний вид и химический состав микробных сообществ: природных ландшафтов с зеленовато-желтой (а) и техногенных ландшафтов с охристой (b) и белесой (c) субстанцией.

В биоматах, имеющих охристую субстанцию в значительных количествах накапливается Fe и S. Данные элементы имеют ураганные концентрации в рудничных водах. Для биоты с белесой субстанцией отмечено высокое содержание Al и F. Вид субстанции в составе биоматов зависит от окислительно-восстановительной обстановки в воде. Так, например, рудничные воды имеют кислую реакцию (pH 3.17-4.95) в месте выхода их из штольни Западная с распространением охристых и зеленовато-желтых биоматов и нейтральную (pH 6.74-6.89) – в месте впадения в р. Модонкуль с белесыми биоматами.

Таким образом, рудничные воды Холтосонского жильного месторождения вольфрама являются кислыми дренажными потоками с ураганным содержанием тяжелых металлов и сульфат-иона, которые поступают в компоненты природного ландшафта прилегающей территории. В донных отложениях рудничных ручьев отмечены высокие концентрации S, Cu, Pb, Zn, Sb и Cd. В почвах, дренируемых рудничными водами, накапливаются Zn, Cu и Cd. В растениях дренируемой рудничными водами территории содержание Cd, Zn, Cu и Pb превышает МДУ в кормах для сельскохозяйственных животных. В сообществах микроорганизмов и водорослей геотехногенных обстановок концентрируются потенциально токсические химические элементы, характерные для данной геохимической обстановки: Fe, Pb, Cu, Cd, Al, Zn, Ti, Bi, W, Be, La, Ce.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту АААА-А21-121011890033-1 «Геоэкологические риски и экстремальные природные явления Сибири и Дальнего Востока».

Библиографический список

1. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – 180 с.
2. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2011. – 505 p.

Термодинамические свойства кристаллизационной воды в соединениях урана

Еремин О.В., Русаль О.С.

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

Аннотация. На основе экспериментальных значений стандартных термодинамических функций гидратных соединений урана рассчитаны свойства кристаллизационной воды в структурах твёрдых фаз. Для большинства рассмотренных соединений урана (сульфаты, нитраты, ванадаты и др.) реакции гидратации экзотермические и самопроизвольные. Для уранил-карбонатов щелочно-земельных металлов Mg, Ca, Sr, Ba, $UO_2CO_3 \cdot nH_2O$, β - $KNbUO_6$, уранилборатов Sr и Ba реакции гидратации эндотермические. Из этого можно полагать, что формирование некоторых вторичных минералов урана может происходить под влиянием его собственной радиационной активности с переносом тепловой энергии.

Ключевые слова: Уран, кристаллизационная вода, реакции гидратации.

Thermodynamic properties of crystal water in uranium compounds

Eremin O.V., Rusal O.S.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail yeroleg@yandex.ru

Abstract. On the basis of the experimental values of the standard thermodynamic functions of uranium hydrate compounds the properties of crystal water in solid-phase structures were calculated. For the majority of the considered uranium compounds (sulfates, nitrates, vanadates, etc.) the hydration reactions are exothermic and spontaneous. For uranyl carbonates of alkali earth metals Mg, Ca, Sr, Ba, $UO_2CO_3 \cdot nH_2O$, β - $KNbUO_6$, and uranylborates of Sr and Ba, the hydration reactions are endothermic. From this it can be assumed that the formation of some secondary uranium minerals can occur under the influence of its own radiation activity with the transfer of thermal energy.

Keywords: Uranium, crystal water, hydration reactions.

Большинство минералов урана содержат в своих структурах кристаллизационную воду (таблица 1).

Таблица 1

Химические классы минералов урана по [5]

Химический класс	Количество минералов	Количество гидратов
Оксиды, гидроксиды, пероксиды	62	33
Сульфаты	62	62
Фосфаты	53	52
Карбонаты	42	38
Арсенаты	40	39
Ванадаты	20	16
Молибдаты	18	14
Силикаты	15	14
Теллулаты-(иты), селениты	11	9
Ниобаты, титанаты, вольфраматы	10	2

Для формальной реакции образования гидратного соединения:



предполагается, что все термодинамические характеристики процесса гидратации обусловлены разностью свойств жидкой воды как реагента и кристаллизационной в составе продукта [6].

Для определения термодинамических свойств кристаллизационной воды, необходимо знать характеристики как минимум двух соединений из гомологического ряда гидратов $A \cdot nH_2O$ [6, 12]. На основе имеющихся экспериментальных данных: стандартных энергий Гиббса ($\Delta_f G^\circ$) и энтальпий ($\Delta_f H^\circ$) образования, стандартных энтропий (S°) при температуре 25°C для различных химических классов гидратных соединений урана рассчитаны свойства кристаллизационной воды в их структурах (таблица 2).

Таблица 2

Стандартные термодинамические функции кристаллизационной воды в соединениях урана

Соединение	$-\Delta_f G^\circ$, кДж/моль	$-\Delta_f H^\circ$, кДж/моль	S° , Дж/моль/К	Источник данных
H ₂ O (Лёд-I)	236.591	-292.746	44.771	[6]
H ₂ O (Жидкость)	237.181	-285.837	69.923	-/-
Оксиды (гидроксиды), пероксиды				
UO ₃ ·nH ₂ O	244±3.7	303.2± 4.6	35.34±2.5	[2]
UO ₂ (OH) ₂	238.0	292.6	50.24	-/-
Na ₂ U ₂ O ₇	241.8	-	-	-/-
UO ₂ O ₂ ·nH ₂ O	-	301.1	-	[4]
UO ₂ ·nH ₂ O	231.4	-	-	-/-
UO _{2.86} ·nH ₂ O	-	299.2	-	-/-
UO ₄ ·nH ₂ O	-	300.0	-	[2]
Карбонаты				
UO ₂ CO ₃ ·H ₂ O	223.4	278.2	49.4	[4]
Mg ₂ (UO ₂)(CO ₃) ₃ ·18H ₂ O	-	206.7	-	[14]
Ca ₂ (UO ₂)(CO ₃) ₃ ·10H ₂ O	-	280.9	-	-/-
Sr ₂ [UO ₂ (CO ₃) ₃]·8H ₂ O	-	199.1	-	-/-
Ba ₂ [UO ₂ (CO ₃) ₃]·6H ₂ O	-	206.7	-	-/-
Li ₄ [UO ₂ (CO ₃) ₃]·1.5H ₂ O	-	334.7	-	[13]
Cs ₄ [UO ₂ (CO ₃) ₃]·nH ₂ O	-	321.7± 45.9	-	-/-
Сульфаты				
U(SO ₄) ₂ ·nH ₂ O	237.9±1.3	294.1±1.3	44.75	[2]
UO ₂ SO ₄ ·nH ₂ O	244.4±1.7	302.6±2.4	38.31±2.3	-/-
CuUO ₂ (SO ₄) ₂ ·5H ₂ O	243.7	303.9	31.2	[8]
CoUO ₂ (SO ₄) ₂ ·5H ₂ O	-	308.3	-	-/-
NiUO ₂ (SO ₄) ₂ ·5H ₂ O	-	306.9	-	-/-
ZnUO ₂ (SO ₄) ₂ ·5H ₂ O	-	302.8	-	-/-
FeUO ₂ (SO ₄) ₂ ·5H ₂ O	-	306.1	-	-/-
MnUO ₂ (SO ₄) ₂ ·5H ₂ O	-	302.3	-	-/-
Нитраты				
UO ₂ (NO ₃) ₂ ·nH ₂ O	245.2±8.2	302.3±8.9	48.7±30.0	[2]
Ванадаты				
Mg(VUO ₆) ₂	-	315.2	-	[10]
Ca(VUO ₆) ₂	-	300.6±11.1	-	-/-
Sr(VUO ₆) ₂	-	302.2	-	-/-
Ba(VUO ₆) ₂	241.8	296.5	49.8	-/-
NaVUO ₆	244.5	300.5	44.6	-/-
LiVUO ₆	-	301,5	-	-/-
Mn(VUO ₆) ₂	259.5	314.7	47.8	[11]
Fe(VUO ₆) ₂	256.7	311.7	47.8	-/-
Co(VUO ₆) ₂	256.5	311.5	47.8	-/-
Ni(VUO ₆) ₂	262.0	317.3	47.8	-/-
Cu(VUO ₆) ₂	247.8±17.5	303.0±17.6	47.8±0.0	-/-
Zn(VUO ₆) ₂	253.3±7.14	308.3±7.14	47.8±0.0	-/-
Cd(VUO ₆) ₂	241.5±15.5	296.6±15.8	47.8±0.0	-/-
La(VO ₆) ₃	-	297.4±8.2	-	-/-
Фосфаты				
UO ₂ HPO ₄	242.6	300.1	40.3	[2]
(UO ₂) ₃ (PO ₄) ₂	237.0	294.6	40.0	-/-
HPUO ₆	-	299.5	-	-/-
LiPUO ₆	-	295.7	-	-/-
NaPUO ₆	-	292.3	-	-/-

Продолжение таблицы 2

$KPUO_6$	-	291.3	-	-/-
$RbPUO_6$	-	290.3	-	-/-
$CsPUO_6$	-	289.3	-	-/-
$Zn((UO_2)(PO_4))_2$	237.1	-	-	-/-
$Ni((UO_2)(PO_4))_2$	237.1	-	-	-/-
$Co((UO_2)(PO_4))_2$	237.1	-	-	-/-
Арсенаты				
$(UO_2)_3(AsO_4)_2$	245.7	-	-	[2]
$HAsUO_6$	-	304.5	-	-/-
$LiAsUO_6$	-	296.5	-	-/-
$NaAsUO_6$	-	296.0	-	-/-
$KAsUO_6$	-	294.0	-	-/-
$RbAsUO_6$	-	292.7	-	-/-
$CsAsUO_6$	-	291.3	-	-/-
$Ca((UO_2)(AsO_4))_2$	237.1	-	-	-/-
Ниобаты				
$LiNbUO_6$	249.3	315.8	-	[2]
$NaNbUO_6$	239.5	296.5	42.1	-/-
$KNbUO_6$	233.0 (α)	298.67 (α)	-	-/-
	229.7 (β)	283.67 (β)	52.2 (β)	-/-
$RbNbUO_6$	231.5 (α)	291.0 (α)	33.7 (α)	-/-
	228.0 (β)	297.5 (β)	-	-/-
Галогениды				
$UOFOH$	242.4	298.8	44.0	[2]
UO_2F_2	240.2	297.5	41.9	-/-
UO_2Cl_2	249.1 \pm 3.9	306.4 \pm 3.9	40.3 \pm 0.6	-/-
UO_2Br_2	248.4 \pm 5.1	306.0 \pm 5.0	39.8 \pm 0.1	-/-
UO_2OHF	239.4	296.0	42.0	-/-
UF_4	245.8	303.6	39.3	-/-
$NH_4(UO_2)_2F_5$	239.0 \pm 0.4	296.3 \pm 0.3	41.7 \pm 0.1	-/-
Бораты				
$Mg(BUO_5)_2$	245.1	304.0	23.6	-/-
$Ca(BUO_5)_2$	249.0	322.0	-	-/-
$Sr(BUO_5)_2$	207.1	267.3	31.3	-/-
$Ba(BUO_5)_2$	204.0	261.8	39.4	-/-
$Mn(BUO_5)_2$	-	300.5	-	-/-
$Ni(BUO_5)_2$	-	303.8	-	-/-
$Co(BUO_5)_2$	-	306.2	-	-/-
$Zn(BUO_5)_2$	-	302.4	-	-/-
$LiUO_2BO_3$	253.7	320 \pm 1.7	10.1	-/-
$NaUO_2BO_3$	256.5	321.1 \pm 4.3	16.6	-/-
KUO_2BO_3	246.5	319.6 \pm 0.5	-	-/-
$RbBUO_5$	-	315.7 \pm 0.9	-	-/-
$CsUO_2BO_3$	258.5	312.4 \pm 2.5	52.5	-/-

Прочерк – отсутствие данных, -/- повторение данных.

Как можно видеть из таблицы 2 для большинства соединений урана (сульфаты, нитраты, ванадаты и др.) реакции (1) экзотермические и самопроизвольные. Проведём сравнительный анализ свойств кристаллизационной воды между гидратами простых сульфатов $MeSO_4 \cdot nH_2O$ и уранил-сульфатов двухвалентных металлов (таблица 3).

Таблица 3

Стандартные энтальпии образования $\Delta_f H^\circ$ (кДж/моль) при температуре 25 °С кристаллизационной воды в сульфатах уранила двухвалентных металлов $MeUO_2(SO_4)_2 \cdot 5H_2O$, $Me = Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Co$ [8] и простых сульфатов $MeSO_4 \cdot nH_2O$ [12], радиусы двухвалентных катионов Me^{2+} с координационным числом 6 по данным работы [1]

Элемент	Радиус катиона, Å	$-\Delta_f H^\circ$ (H_2O_{cryst}), кДж/моль [8]	$-\Delta_f H^\circ$ (H_2O_{cryst}), кДж/моль [12]
Co	0.68	308.3	297.9±3.8
Ni	0.69	306.9	301.0±2.6
Cu	0.73	303.9	301.0±5.0
Zn	0.74	302.8	298.2±6.4
Fe	0.78	306.1	296.6±3.8
Mn	0.96	302.3	295.2±5.2

Значения $\Delta_f H^\circ(H_2O_{cryst})$ (таблица 3) как для гидратов простых сульфатов, так и с уранил-катионами, выше (по абсолютной величине) чем для жидкой воды. Для соединений с ураном эти отличия более существенны, чем у простых сульфатов, что должно проявляться в различных экзотермических эффектах реакций гидратации (1).

К пространственному построению кристаллов непосредственное отношение имеют величины абсолютных энтропий S° гидратной воды. Их можно связать с мерой упорядоченности кристаллической структуры, при этом меньшие значения S° соответствуют большей структурной сложности. Среди множества гидратных сульфатов $MeSO_4 \cdot nH_2O$ ($Me = Ca, Mn, Cd, Fe, Zn, Cu, Mg, Ni, Co, Be$) минимальным значением $S^\circ = 38.3 \pm 1.0$ Дж/МольК характеризуется кристаллизационная вода в ряду сульфатов меди [12]. Логичнее сравнивать значения энтропий кристаллизационной воды с фазой льда-I. Так в ряду H_2O (ледI) - $CuSO_4 \cdot nH_2O$ - $CuUO_2(SO_4)_2 \cdot 5H_2O$ свойства S° кристаллизационной воды (44.8 38.3 31.2) Дж/моль/К показывают увеличение структурной сложности кристаллов.

Как можно видеть из (таблица 2) для уранил-карбонатов щелочно-земельных металлов Mg, Ca, Sr, Ba реакции (1) эндотермические.

Сравнение гидратов уранил-карбонатов и простых карбонатов (таблица 4) показывает, что для соединений $MeCO_3 \cdot nH_2O$ ($Me=Ca, Mg$) присутствие катионов уранила меняет характер процессов гидратации (1) с экзотермических на эндотермические. Для уранокарбонатов Li и Cs реакции (1) экзотермические.

Таблица 4

Стандартные энтальпии образования $\Delta_f H^\circ$ (кДж/моль) при температуре 25 °С кристаллизационной воды в гидратах карбонатов уранила щелочноземельных металлов $Me_2(UO_2)(CO_3)_3 \cdot nH_2O$ $Me = Mg, Ca, Sr, Ba$ [14] и $Me_4UO_2(CO_3)_3 \cdot nH_2O$ щелочных металлов $Me=Li, Cs$ [13], а также простых карбонатов $MeCO_3 \cdot nH_2O$ [6]. Радиусы катионов по [1]

Элемент	Радиус катиона, Å	$-\Delta_f H^\circ$ (H_2O_{cryst}), кДж/моль [13, 14]	$-\Delta_f H^\circ$ (H_2O_{cryst}), кДж/моль [6]
Mg	0.72	206.7	291.6
Ca	1.00	280.9	291.1±0.1
Sr	1.18	199.1	-
Ba	1.35	206.7	-
Li	0.76	334.7	-
Cs	1.67	321.7±45.9	-

Прочерк – отсутствие данных или самих гидратов.

В состав многих минералов класса карбонатов уранила входят Mg, Ca, Sr, Ba: бейлиит ($Mg_2(UO_2)(CO_3)_3 \cdot 18H_2O$), свартцит ($CaMgUO_2(CO_3)_3 \cdot 12H_2O$) и др. [3]. Формирование таких вторичных минералов может происходить под влиянием собственной радиационной

активности с переносом тепловой энергии. Аналогичные тепловые эффекты «внедрения» воды в кристаллические структуры характерны для синтетических рабдофанов [7].

Из множества рассмотренных в табл. 2 гидратов эндотермические реакции гидратации (1) характерны также для $\text{UO}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\beta\text{-KNbUO}_6$, уранилборатов Sr и Ba.

Работа поддержана РФФ (проект № 22-27-00281).

Библиографический список

1. Gebhardt J., Rappe A.M. Big data approach for effective ionic radii//Computer Physics Communications. 2019. 237. – P. 238-243.
2. Grenthe, I., Gaona, X., Plyasunov, A.V., Rao, L., Runde, W.H., Grambow, B., Konings, R.J. M., Smith, A.L., Moore, E.E., 2021. Second Update on the Chemical Thermodynamics of Uranium, Neptunium, Plutonium, Americium and Technetium, Chemical Thermodynamics, 14. Nuclear Energy Agency, OECD, Paris, France.
3. Gurzhiy V.V., Kalashnikova S.A., Kuporev I.V., Plášil J. Crystal Chemistry and Structural Complexity of the Uranyl Carbonate Minerals and Synthetic Compounds//Crystals 2021, 11, 704.
4. Hemingway B. S. Thermodynamic properties of selected uranium compounds and aqueous species at 298.15 K and 1 bar and at higher temperatures. Preliminary models for the origin of coffinite deposits/Open-File Report 82-619, 1982, U.S. Geological Survey.
5. IMA, 2023. The new IMA list of minerals – a work in progress. Updated: May, 2023. <http://nrmima.nrm.se>
6. Mercury L., Vieillard Ph., Tardy Y. Thermodynamics of ice polymorphs and 'ice-like' water in hydrates and hydroxides //Applied Geochemistry. 2001.16. – P. 161-181.
7. Shelyug A., Mesbah A., Szenknect S.,Clavier N., Dacheux N., Navrotsky A. (2018) Thermodynamics and Stability of Rhabdophanes, Hydrated Rare Earth Phosphates $\text{REPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ // Front. Chem. 6:604.
8. Карякин Н.В., Князев А.В., Гаврилова С.А. Химическая термодинамика соединений ряда $\text{A}(\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$ (AII = Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) // Радиохимия. 2005. Т. 47. № 2. – С. 110-122.
9. Карякин Н.В., Черноруков Н.Г., Князев А.В., Хомякова В.О., Смирнова Н.Н. Термодинамика ураноборатов щелочных металлов // Радиохимия 2005. Т. 47, № 2. – С. 123-132.
10. Князев А.В. Синтез, строение и физико-химические свойства уранованадатов одно-, двух- и трёхвалентных металлов. Автореф. Дисс. К.х.н. Нижний Новгород 2000. – 20 с.
11. Нипрук О.В., Черноруков Н.Г., Чаплиёва К.А., Черноруков Г.Н., Абражеев Р.В. Состояние уранованадатов d-переходных элементов в гетерогенных водно-солевых системах // Радиохимия 2019. Т. 61, № 5. – С. 368-375.
12. Русаль О.С., Еремин О.В. Оценка стандартных термодинамических функций гидратных сульфатов двухвалентных металлов (Ca, Mn, Cd, Fe, Zn, Cu, Mg, Ni, Co, Be) // Геохимия. 2022. № 10. – С. 978-992.
13. Черноруков Н.Г., Князев А.В., Власова Е.В., Ершова А.В. Исследование уранилкарбонатов одновалентных металлов // ЖНХ, 2008, т. 53, №4. – С. 585-893.
14. Черноруков Н.Г., Князев А.В., Власова Е.В., Кузнецова Н.Ю. Физико-химическое исследование уранилкарбонатов жёлочно-земельных металлов // Радиохимия, 2009, т. 51, № 3. – С. 213-217.

Физико-химическая модель окисления кварц-вольфрамит-топазового грейзена месторождения Шерловая Гора

Еремин О.В., Юргенсон Г.А., Эпова Е.С.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, yeroleg@yandex.ru

Аннотация. На основе данных химического состава кварц-вольфрамит топазового грейзена Шерловой Горы построена модель их окисления в водной среде при стандартных условиях в ПК «Селектор». Для Bi, Sb, Se, Te и U представлены равновесные минеральные фазы и соединения в зависимости от окислительно-восстановительных условий систем «вода-порода».

Ключевые слова: Термодинамическое моделирование, ПК «Селектор», кварц-вольфрамит-топазовый грейзен, месторождение Шерловая Гора.

Physico-chemical model of oxidation of quartz- wolframite-topaze- greizens of the Sherlovogorsk deposit

Eremin O.V., Yurgenson G.A., Epova E.S.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, yeroleg@yandex.ru

Abstract. Based on the data on the chemical composition of quartz-wolframite- topaz greisens from Sherlovaya Gora, a model of their oxidation in an aqueous medium under standard conditions in the Selektor PC was built. For Bi, Sb, Se, Te and U, equilibrium mineral phases and compounds are presented depending on the redox conditions of the "water-rock" systems.

Keywords: Thermodynamic modeling, PC "Selektor", quartz-wolframite-topaz greisens, Sherlovaya Gora deposit.

Шерловая Гора (Восточное Забайкалье) представляет уникальный геологический объект, на территории которого расположены месторождения самоцветов, вольфрама, олова, висмута и полиметаллических руд [2, 4]. Шерловогорский рудный район включает пять месторождений, из которых Шерловая Гора представляет собою интенсивно грейзенизированные граниты Шерловогорского массива кукульбейского интрузивного комплекса. В связи с процессом грейзенизации сформированы кварцево-жильные тела, содержащие наряду с кварцем берилл, топаз, слоистые силикаты, турмалин. Рудная составляющая представлена касситеритом, ферберитом, железистым членом изоморфного ряда ферберит-вольфрамит-гюбнерит. Присутствуют также висмутин, самородный висмут, бисмутит, арсенопирит, скородит, рузвельтит, тунгстенит, фармакосидерит, метацейнерит и другие минералы. К настоящему времени общее число минеральных видов, выявленных в пределах рудного поля достигло 200 [4].

Проведённые нами ранее эксперименты по сернокислотному выщелачиванию шерловогорских грейзенов и олово-полиметаллических руд [3] показали активный вынос в реакционных растворах большого количества химических элементов. Открытым остаётся вопрос судьбы многих этих элементов в компонентах природных ландшафтов, условий образования и устойчивости их минеральных фаз. Определённые представления об этом могут дать модели расчётов термодинамических равновесий в системах «вода-порода» [1].

Образцы кварц-вольфрамит-топазовых грейзенов отобраны на западном склоне сопки Мелехинская [4]. Пробы издроблены и рассеяны на два класса крупности. Химический анализ их проводился методом ICP-MS в лаборатории «SGS» (г. Чита) и представлен в (таблице 1).

Таблица 1

Химический состав вольфрамитовых пород различных классов размерностей.
Содержания макрокомпонентов Si-As, в %, остальные элементы в г/т

Компоненты (кларк земной коры по [5])	Класс 0,5-1 мм	Класс <0,1 мм
Si (30)	44	45
Al (8)	14	12

Продолжение таблицы 1

Ca (3)	0.8	1.1
Mg (2)	0.02	0.06
Na (3)	0.09	0.23
K (3)	0.5	1.3
Fe (5)	2	6
Ti (0.5)	0.03	0.09
P (0.1)	0.01	0.03
Mn (1)	0.5	0.7
Cr (0.01)	0.001	0.02
S (0.05)	0.5	0.9
W (1,3)	12 %	13 %
Bi (0,009)	2 %	3 %
As (1,7)	0.4 %	1.3 %
Y (29)	72	200
La (29)	16	91
Ce (70)	32	163
Pr (9)	4	26
Nd (37)	17	100
Sm (8)	5	27
Eu (1,3)	0.2	1
Gd (8)	6	27
Tb (4,3)	1	5
Dy (5)	10	30
Ho (1,7)	2	6
Er (3,3)	6	18
Tm (0,27)	1	3
Yb (3,3)	6	18
Lu (0,08)	1	3
$\Sigma\text{Ln+Y}$	179.2	718
Sb (0,5)	42	222
Nb (20)	207	213
Zn (83)	225	1650
Zr (170)	380	600
Cr (83)	40	220
Be (3.8)	631	257
Cd (0.13)	4	18
Cs (3.7)	24	33
Cu (47)	170	770
Ga(19)	11	278
In (0.25)	4	33
Li (32)	90	200
Mo (1.1)	23	137
Pb (16)	996	3990
Rb (150)	159	377
Sc (10)	40	300
Sn (2.5)	360	282
Ta (2.5)	38	37
Th (13)	12	62
Tl (1)	1	2.8
U (2.5)	12	75
Ag (0.07)	1	1
Se (0.05)	0.3	0.5
Te (0.001)	1	2

Таблица 2

Равновесные фазы Bi, Sb, Se, Te и U в модели окисления шерловогорских пород (таблица 1), соотношение T:Ж=1:10, при переменном содержании кислорода (O₂) в системе

№ п/п	Электродный потенциал равновесных растворов Eh, В					
	-0.4	-0.1	0	0.1	0.2	0.4
Bi	Самородный висмут (Bi)	Самородный висмут, бисмутит (Bi ₂ O ₂ CO ₃), буаззерит (Bi ₆ (Mg,Co) ₁₁ Fe ₁₄ (AsO ₄) ₁₈ O ₁₂ (OH) ₄ ·86H ₂ O)	Бисмутит, бейерит (CaBi ₂ O ₂ (CO ₃) ₂), поттсит (Bi ₃ O(VO ₄) ₂ OH), буаззерит	Поттсит, буаззерит	Поттсит, буаззерит чеховичит (Bi ₂ Te ₄ O ₁₁)	Добреит BiO(OH), чеховичит
Sb	Купростибит (Cu ₂ Sb).	Куалстибит (Cu ₂ Al(OH) ₆ [Sb(OH) ₆]) Тунгстибит (SbWO ₄)	Куалстибит	Цинкалстибит (Zn ₂ Al(OH) ₆ [Sb(OH) ₆]).	Брандхольцит (MgSb ₂ (OH) ₁₂ (H ₂ O) ₆), трипугиит (FeSbO ₄)	Мопунгит (NaSb ⁵⁺ (OH) ₆) брандхольцит, трипугиит
Se	Рокезит (CuInSe ₂)	Рокезит	Ларисаит (NaH ₃ O(UO ₂) ₃ (SeO ₃) ₂ O ₂)	Ларисаит	Ларисаит	Ларисаит
Te	Гёссит (Ag ₂ Te)	Гёссит	Гёссит	Брумадоит (Cu ₃ (Te ⁶⁺ O ₄)(OH) ₄ ·5H ₂ O) Дженсенит (Cu ²⁺ ₃ Te ⁶⁺ O ₆ ·2H ₂ O) Франкхоторник (Cu ₂ Te ⁶⁺ O ₄ (OH) ₂) Куцтикит (Fe ³⁺ ₂ Te ⁶⁺ O ₆ ·3H ₂ O)	Брумадоит Дженсенит Франкхоторник Куцтикит Чеховичит	Чеховичит
U	Уранинит (UO ₂), коффинит (USiO ₄)	Гримзелит, (K ₃ NaUO ₂ (CO ₃) ₃ ·H ₂ O) натроболтвудит (NaUO ₂ SiO ₃ OH·1.5H ₂ O), тристамит (Ca _{0.54} U _{0.29} Fe _{0.17} (PO ₄) _{0.79} (SO ₄) _{0.12} (CO ₃) _{0.07} (H ₂ O) _{1.77}), ураномолибдат лития (Li ₂ UMo ₂ O ₁₀).	Ларисаит, хейвиит (Ca(UO ₂) ₂ (SiO ₃ OH) ₂ Si ₃ O ₆ ·6H ₂ O), гримзелит, тристамит, бобфинчит (Na(UO ₂) ₈ O ₃ (OH) ₁₁ (H ₂ O) ₁₀), Li ₂ UMo ₂ O ₁₀	Ларисаит, хейвиит, гримзелит, тристамит, Li ₂ UMo ₂ O ₁₀ , CsVUO ₆	Магниоурсилит (Mg ₄ (UO ₂) ₄ (Si ₂ O ₅) ₅ (OH) ₆ ·15H ₂ O), ворланит (CaUO ₄), вапникит (Ca ₃ UO ₆), ларисаит, Li ₂ UMo ₂ O ₁₀ , CsVUO ₆	Вапникит, студтит(UO ₂ O ₂ (H ₂ O) ₄), ларисаит, CsUO ₂ OOH Li ₂ UMo ₂ O ₁₀ , CsVUO ₆

В программном комплексе «Селектор» построена модель окисления пород при температуре 25 °С и атмосферном давлении. Соотношение Т:Ж(вода)=1:10, химический состав задавался в интервалах содержаний по таблице 1, элементы С, F, Cl и др. соответственно кларкам земной коры по [5]. При увеличении кислорода в системе равновесные водные растворы характеризуются определёнными электродными потенциалами E_n . Сопряжённые с растворами твёрдые фазы показывают поведение элементов на окислительно-восстановительных геохимических барьерах. В виду того, что количество рассматриваемых в модельной системе химических элементов велико (таблица 1) мы представляем результаты расчётов для Bi, Sb, Se, Te и U в таблице 2.

Из таблицы 2 можно видеть, что при восстановительных условиях ($E_h < -0.1$ В) рассматриваемые элементы присутствуют в самородной форме (Bi), а также в виде антимонидов, селенидов и теллуридов. Уран (IV) при этом образует кислородные формы уранинита и коффинита. При смене электродного потенциала от отрицательных значений к положительным, висмут формируется в фазах карбонатов и арсенатов, сурьма – гидроксидов, уран – в соединениях уранила. Селен образует селениты, теллур – теллулаты. При высоких положительных значениях электродного потенциала разнообразие минеральных форм представлено в основном классами оксидов и гидроксидов.

Работа поддержана РФФ (№ 22-27-00281).

Библиографический список

1. Еремин О.В., Юргенсон Г.А., Эпова Е.С. Термодинамическая модель окисления сульфидных руд месторождения Новоширокинское (Восточное Забайкалье) // Геосферные исследования. 2018. № 3. – С. 43-50.
2. Касаткин А.В., Клопотов К.И., Плашил Я. Гипергенные минералы Шерловой Горы // Минералогический альманах, 2014, т. 19, вып. 2. – С. 94-139.
3. Эпова Е.С., Еремин О.В. Сравнительный анализ процессов выщелачивания кварц-топаз-вольфрамитовых рудоносных пород и олово-полиметаллических сульфидных руд Шерловгорского месторождения // В сборнике: Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Материалы третьей Всероссийской научной конференции с международным участием. Ответственные редакторы Л.В. Замана, С.Л. Шварцев. 2018. – С. 391-393.
4. Юргенсон Г.А., Кононов О.В. Шерловая Гора: месторождение самоцветов и редких металлов // Минералогический альманах, 2014, т. 19, вып. 2. – С. 12-93.
5. Ярошевский А.А. Распространённость химических элементов в земной коре // Геохимия. 2006. № 1. – С. 80-102.

Колебания уровненного режима Доронинского содового озера

Серебренникова Н.В.

Лаборатория минералогии и геохимии ландшафта ЗабГУ, NVSerebrennikova2010@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен характер колебаний уровненного режима Озера Доронинское в 2002-2012 гг. Установлено, что в приходных статьях водного баланса озера Доронинское ведущую роль играет именно подземный сток, значительный объем которого способствует длительному сохранению квазистационарного состояния его аквасистемы.

Ключевые слова: Оз. Доронинское, водный баланс, подземный сток.

Fluctuations in the level regime of Doroninsky soda lake

Serebrennikova N.V.

Laboratory of Mineralogy and Geochemistry of the landscape of ZabGU, NVSerebrennikova2010@mail.ru

Abstract. The nature of fluctuations in the level regime of Lake Doroninskoye in 2002-2012 is considered. It is established that in the incoming articles of the water balance of Lake Doroninskoye, the leading role is played by underground runoff, a significant amount of which contributes to the long-term preservation of the quasi-stationary state of its aquasystem.

Keywords: lake Doroninskoe, water balance, underground runoff.

Озеро Доронинское расположено в 154 км к юго-западу от г. Чита Забайкальского края. Площадь озера составляет $\sim 5 \text{ км}^2$, площадь водосбора $\sim 150 \text{ км}^2$. Являясь третьим по величине водоемом Ингодинской депрессии, характеризуется рядом индивидуальных свойств, определяющих в совокупности уникальность этого природного объекта.

Прежде всего, озеро известно как крупнейшее месторождение самосадочной соды Восточной Сибири, и в качестве эталона содового минералообразования широко используется в отечественной и зарубежной научной литературе. Рациональное решение эколого-экономических проблем освоения месторождения невозможно без комплексной оценки его ресурсного потенциала.

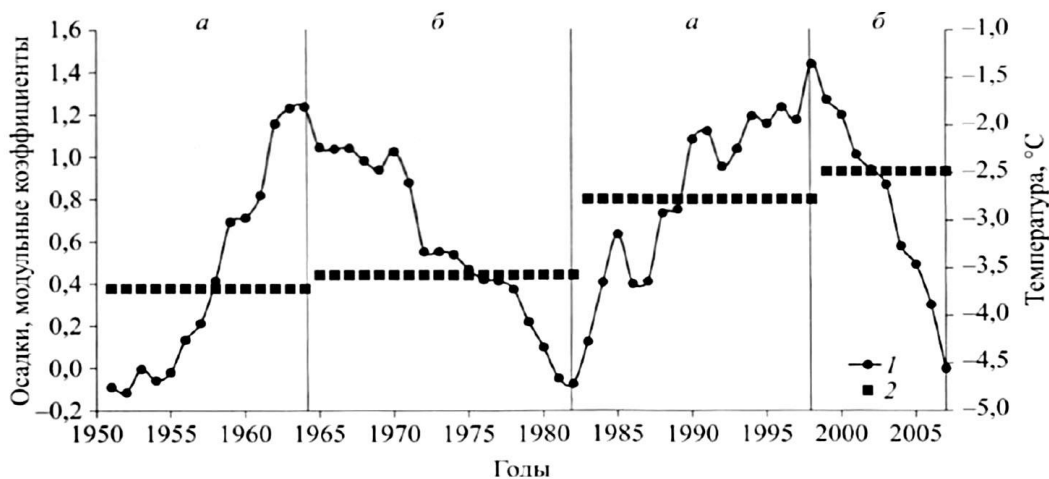
В настоящий момент, в системе «озеро-питающая провинция» ведущую роль принято отводить атмосферным осадкам (Борзенко, 2012, с. 12). На наш взгляд, хотя значительный вклад атмосферных осадков в водное питание озера не подлежит сомнению, участие их в водно-солевом питании водоема носит большей частью опосредованный характер, поскольку насыщая водоносные комплексы питающей провинции, атмосферные воды закономерно меняют свой химический состав, взаимодействуя с породами и почвами ее территории.

О том, что это влияние опосредованно не только в пространстве, но и во времени свидетельствует анализ наблюдений за колебаниями уровненного режима водоема в 2002-2012 гг.

Несмотря на наступление аридной фазы и резкое сокращение осадков в 2000-2006 гг. (рисунок 1), уровень воды озера Доронинское в этот период оставался достаточным для развития абразионных процессов на северо-восточном участке береговой линии (рисунок 2), полоса осушки не превышала 2 м. Максимальная глубина водоема в 2004 г. составляла 7 м (авторские данные), а в 2006 г. – 6,5 м (Замана, Борзенко, 2006а, с. 68). С 2007 г. регрессия аквасистемы водоема становится более выраженной, развитие абразионных процессов смещается вглубь его котловины, полоса осушки увеличивается до 5-9 м.

Несмотря на наметившееся в последующие годы повышение увлажненности территории, низкий уровень водности системы отмечался вплоть до 2011 г. Максимальная глубина в 2010 г. составляла 5 м (Бурюхаев, Дамбаев, Колосов, 2011, с. 72). Лишь резкое увеличение количества осадков в летне-осенний период 2012 г. привело к наполнению озерной чаши почти до уровня 2006 г.

Таким образом, колебания уровненного режима водоема носят явно выраженный инерциальный характер. В текущую аридную фазу уровень аквасистемы озера Доронинское понижался почти на треть от его противофазной величины.



Периоды: *a* – влажный; *b* – сухой. 1 – интегрально-разностная кривая годовых сумм осадков; 2 – температура воздуха, усредненная по периодам увлажнения.

Рисунок 1. Многолетние изменения многолетних осадков и температуры воздуха в Забайкальском крае.

Для сравнения отметим, что уровень Барун-Торея, самого крупного водоема Забайкальского края, уже к 2004 г снизился на 1,5 м (Обязов, 2007) и на 5 м к 2010 г. (рисунок 2). Площадь Барун-Торея в полноводные годы составляет 550 км² при максимальной глубине около 5,5 м (Кириллук, Кириллук, Горошко и др., 2009).

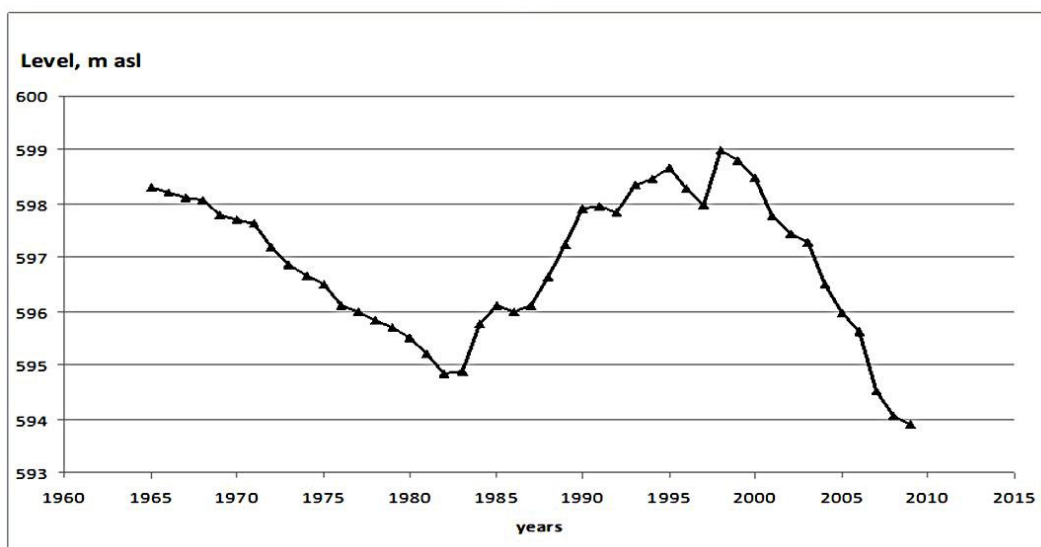


Рисунок 2. Изменения уровня озера Барун-Торей (Обязов).

Следовательно, несмотря на то, что только акватория Барун-Торея в 3,5 раза превышает всю площадь водосбора озера Доронинское, его реакция на усиление аридности климата заметно более выражена.

Ретроспективный анализ гидрометрических измерений озера Доронинское (таблица 1) также свидетельствует о квазистационарном состоянии его водного режима.

Как следует из приведенных данных, за последние сто лет измеренный уровень водоема не опускался ниже четырехметровой отметки. В то же время, Торейские озера высыхали практически полностью в 1903-1904, 1921-1922 и 1944-1947 гг. (Замана, Обязов, 2004), 1952, 1958 гг. (Локоть, Стрижова, Горлачева, 1991). В начале восьмидесятых годов XX века максимальная их глубина составляла 1,5-2 м (Локоть, Стрижова, Горлачева, 1991; Кириллук, Кириллук, Горошко и др., 2009).

Поскольку в аридные фазы климатических циклов водное питание озер обеспечивается преимущественно глубинным подземным стоком, именно его режим и определяет уровень водонасыщенности системы. Инерциальный характер реакции аквасистемы озера Доронинское свидетельствует о ведущей роли глубинного подземного стока в его водном питании и значительных гидроресурсах питающей провинции, обеспечивающих квазистационарное состояние урвненного режима водоема.

Таблица 1

Столетние колебания глубин озера Доронинское

Макс. глубина, м	Год определения	Источник данных
5,3	1905	Кузнецов, 1905 г.
5,5	1911	Белоусов, 1918 г.
4,2	1923	Франк-Каменецкий, 1924 г.
4,5	1929	Гладцин, 1931 г.
5,5	1938	Букштейн, 1938 г.
5	1949	Власов, Чернышев, Павлова, 1960
5	1951	Нагорная, 1953 г.
5	1970	Скляревский, 1970 г.
5,5	1972	Иванов, Трофимова, 1982 г.
6,5	1992	Чукарев, 1992 г.
7	2004	Авторские данные
6,5	2006	Замана, Борзенко, 2006а
5	2010	Бурюхаев, Дамбаев, Колосов, 2011 г.



Известно также, что избыточный сток, существенно превышающий испарение с акватории эвапоритовых бассейнов, приводит к термогалинной стратификации озерных вод и развитию анаэробных условий под пикноклином (Страхов, 1962; Тарасов, 2001). Колебания уровня озера Доронинское действительно ограничены пределами верхней гидрохимической зоны и определяют развитие застойных условий в его придонном слое. Следовательно, меромиксия водоема также отражает обстановку его избыточного водного питания.

Относительная устойчивость урвненного режима озера Доронинское должна быть отражена в модельных построениях его водно-солевого баланса. Следует признать, что в приходных статьях водного баланса озера Доронинское ведущую роль играет именно подземный сток, значительный объем которого способствует длительному сохранению квазистационарного состояния его аквасистемы.

Библиографический список

1. Власов Н.А., Чернышев Л.А., Павлова Л.И. Соляные озера Восточной Сибири и возможности их промышленного использования // Труды БКНИИ СО РАН СССР. Вып. 4. 1960. – С. 50-65.
2. Гладцин И.Н., Дзенс-Литовский А.И. Мерзлотные «сальзы» и гидролакколиты района Доронинского содового озера // Известия Государственного географического общества. 1936., №4. – С. 449-459.
3. Скляревский Ю.П., Устюгов Я.Г., Булдукова Г.Г., Степушева Г.К. Гидрогеологические условия площади листа М-49-ХІ. – 1970ф. – 49 с.
4. Франк-Каменецкий А.Г. Доронинское содовое озеро в Забайкалье // Известия биолого-географического научно-исследовательского института при ИГУ. Т. 1. Вып. 4. – Иркутск, 1924. – С. 3-33.
5. Кузнецов С.Д. Рапорт в Главное Управление Нерчинского Округа о Доронинском содовом озере – 1905ф. – 17 с.
6. Обязов В.А. Адаптация к изменениям климата: региональный подход. 2007 г. – С. 34-39.

Геохимические особенности приозерных засоленных почв, формирующихся в зоне влияния Шерловгорского рудного узла

Убугунова В.И.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия,

e-mail: ubugunova57@mail.ru

Аннотация. Региональной особенностью приозерных почв оз. Бабье является повышенная концентрация As, что связано с близким расположением к Шерловгорскому горному узлу. Для солончаков характерен контрастный характер внутрипрофильного распределения Ca, S, P, Zn, Mg, Sr: в солончаковом горизонте аккумулируются As, Sr, Li, S, Mg, Ca, Pb, в средней части профиля – Mg, As, Ba, Sr, Pb, в озерных отложениях – Ca, Sr, As, Li, Ba. В гумусово-квазиглеевой почве отмечается для большинства элементов слабо контрастная внутрипрофильная дифференциации, очень высокая вариабельность отмечена только для биофильных элементов. В светлогумусовом горизонте накапливаются Ca, Sr, As, Pb, Li, Ba; в переходном – As, Li, Ba, в озерных отложениях – As, Sr, Li, Ba, Mg, Ca. В светлогумусовой почве накопление элементов вышекларковых значений отмечены только для As, Pb, Ba, Li.

Ключевые слова: приозерные почвы, свойства, засоление, геохимические особенности.

Geochemical features of lakeside saline soils of drainless depressions formed in the zone of influence of the Sherlovogorsky ore node

Ubugunova V.I.

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, Russia,

e-mail: ubugunova57@mail.ru

Abstract. A regional feature of the lakeside soils of drainless depressions of the Lake Babye is an elevated concentration of As, which is due to its proximity to the Sherlovogorsky mountain junction. For solonchaks, the contrasting nature of the intra-profile distribution of Ca, S, P, Zn, Mg, Sr is characteristic. As, Sr, Li, S, Mg, Ca, Pb are accumulated in the solonchak horizon; Mg, As, Ba, Sr, Pb are accumulated in the middle part of the profile; and Ca, Sr, As, Li, Ba are accumulated in lake sediments. In humus-quasi-clay soil, low contrast intra-profile differentiation is noted for most elements. Very high variability was observed for only biophilic elements. Ca, Sr, As, Pb, Li, Ba are accumulated in the light-humus horizon; As, Li, Ba are accumulated in the transitional layer; and As, Sr, Li, Ba, Mg, Ca are accumulated in lake sediments. In the light-humus soil only As, Pb, Ba, Li concentrations were higher than clark.

Keywords: lakeside soils, drainless depressions, properties, salinization, geochemical features.

Наиболее динамичными экосистемами степной зоны Южного Забайкалья являются приозерные территории, локализующиеся вокруг многочисленных солоноватых и соленых озер. По основному компоненту приозерных экосистем – почвам – имеются лишь единичные работы, в которых приводятся материалы по гранулометрическому составу, возрасту почв [1], химизму засоления [5]. Отсутствие материалов по свойствам почв осложняет решение широкого круга задач природопользования степной зоны, в том числе мониторинга заповедных и рекреационных зон. Поэтому целью настоящего сообщения явилось представление сведений о некоторых физико-химических свойствах и элементном составе почв, формирующихся на супераквально-субаквальных, супераквальных, элювиально-супераквальных позициях приозерных понижений хлоридных озер.

Объектом исследования явились приозерные почвы оз. Бабье (N50.296291, E116.379090), относящегося к Онон-Керуленской группе озер Восточного Забайкалья и расположенного в 24 км от Шерловгорского рудного узла. Озеро Бабье представляет собой бессточный водоем с изменяющейся площадью (0,35-1,3 км²). Воды сильноминерализованные. В аридную и гумидную климатические фазы имеют разную химическую характеристику [2]. Озерная котловина находится между разновозрастными и разнородными Борзинским, Уртуйским и Ононским террейнами [4]. Климат исследуемой территории резко континентальный с отрицательными среднегодовыми температурами, недостаточной увлажненностью, неравномерным характером выпадения атмосферных осадков по сезонам, чередованием влажных и сухих периодов длительностью около 30 лет. Основной чертой растительности приозерных экосистем является гетерогенность сообществ и выраженная кольцевая зональность.

Почвенные исследования проводились на супераквально-субаквальных, супераквальных и элювиально-супераквальных позициях приозерного ландшафта. Было изучено 3 опорных разреза. Разрез Б-1 (N 50.29955, E 116.38027) заложен в 50 м от береговой линии оз. Бабье под шведово-соссюрейным сообществом. Морфологический профиль почв резко дифференцирован и имеет следующую формулу: Sq (0-5 см) – Cs (5-20(22) см) – CQs (22-80 см). По системе генетических горизонтов этот тип почвы относится к солончакам квазиглеевым (Gleyic Solonchaks Aridic). Разрез Б-2 (N 50.30025, E 116.37903) находится в 153 м от береговой линии оз. Бабье под бескильницево-полынно-ячменевым сообществом. Морфологическое строение профиля имеет следующий вид: AJs (0–15(18) см) – Cs (15(18)–34(39) см) – CQs (34(39)-65 см). Такой тип строения соответствует гумусово-квазиглеевой засоленной почве (Endosalic Gleysoils Sodic). Разрез Б-3 (N 50.30074, E 116.37787) заложен на пологом склоне трансэлювиального участка палеогидроморфной позиции озерной депрессии (400 м от береговой линии оз. Бабье) под ковыльной степью. Морфологическое строение профиля имеет следующую систему генетических горизонтов: AJ (0-33(39) см) – ACs (33(39)-44(47) см) – Cs (44(47)-60 см) и классифицируется как светлогумусовая засоленная (Mollic Leptosols Eutric Sodic).

При изучении почв использовались морфологические, физико-химические, геохимические методы исследования: содержание органического углерода Сорг методом мокрого сжигания по Тюрину, обменные катионы методом Пфеффера, гранулометрический состав методом Качинского. Элементный состав выполнялся в аккредитованной лаборатории атомно-эмиссионным методом с индуктивно связанной плазмой (ICP). Для выявления особенностей распределения элементов в засоленных почвах рассчитаны коэффициенты концентрации (КК) по отношению к литосфере по [3].

Данные по некоторым физико-химическим свойствам почв приведены в таблице 1.

Таблица 1

Некоторые физико-химические свойства почв прибрежной зоны озера Бабье

Горизонт, глубина, см	рН	СО ₂	Гумус	Токсичные соли	Содержание фракций <0,001мм	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы
Разр. Б-1. Солончак квазиглеевый						
Sq 0–5	8,4	8,4	4,8	2,62	54	27,5
Cs 5–20(22)	8,8	2,3	0,5	0,73	14	13,3
CQs 20(22)–30	8,5	7,8	0,6	0,61	37	17,3
CQs 30–80	8,2	9,4	0,5	0,46	41	12,8
Разр. Б-2. Гумусово-квазиглеевая засоленная почва						
AJs 0–15(18)	8,6	1,9	1,2	0,08	14	9,8
ACs 15(18)–34(39)	9,7	1,6	0,3	0,29	15	11,1
QCs 34(39)–65	9,6	6,0	0,4	0,19	31	12,4
Разр. Б-3. Светлогумусовая засоленная почва						
AJ 0–33	7,5	0,5	1,3	0,04	13	8,6
ACs 33(39)–44(47)	9,4	0,7	0,9	0,25	20	19,1
Cs44(47)–60	9,2	1,3	0,7	0,37	31	20,7

По результатам проведенных исследований установлена резкая литологическая неоднородность солончаков: отмечается чередование тяжелосуглинистых слоев озерных отложений с песчаными эоловыми (таблица 1). Весь профиль окарбончен, значения рН соответствуют щелочным и сильнощелочным значениям. Солончак имеет очень сильную степень щелочного засоления, основными ионами, влияющими на засоление, являются хлориды и катионы натрия. Химизм хлоридно-натриевый, скорее всего, унаследованный от вод озера. Гранулометрический состав гумусово-квазиглеевой засоленной почвы также неоднороден: верхние супесчаные горизонты (до 34 см) сменяются среднесуглинистыми. Минимальное значение рН (8,6), содержание токсичных солей отмечено в верхнем горизонте

(таблица 1). В нижележащих горизонтах происходит активное повышение рН (до 9,7), резкое снижение гумуса (до 0,3 %). Почвы имеют слабую (АJ) и среднюю (Cs, CQs) степень засоления с содово-хлоридным и хлоридно-содовым химизмом соответственно. Наряду с хлором значительное влияние на засоление оказывают карбонаты, содержание серы незначительно. Верхняя корнеобитаемая толща (0–33 см) светлогумусовой почвы (Б-3) не засолена, имеет оптимальные условия для роста и развития растений (таблица 1). Резкое возрастание рН и увеличение засоления отмечается горизонте АСs (33–44 см). Самую сильную степень засоления хлоридно-содового типа имеет горизонт Cs,ca.

Для оценки геохимической специализации приозерных почв был изучен элементный состав (таблица 2).

Таблица 2

Содержание элементов в приозерных почвах озера Бабье

	Разрез Б-1				Разрез Б-2			Разрез Б-3		
	0–5	5–20	20–30	30–80	0–15	15–34	34–65	0–33	32–44	44–60
%										
Si	22.81	34.34	33.28	28.17	25.31	33.55	27.55	30.85	31.60	30.25
Al	5.06	5.67	5.47	5.31	5.47	5.47	5.48	5.78	6.01	6.17
Fe	1.97	1.32	1.39	1.27	2.25	1.36	1.44	1.92	2.07	2.34
Ca	5.06	1.98	2.02	6.97	7.16	1.52	3.00	0.71	0.77	1.36
Mg	3.55	0.71	0.83	1.67	0.97	0.82	2.12	0.27	0.46	0.68
K	1.83	2.61	2.48	2.36	2.12	2.53	2.33	2.44	2.43	2.38
Na	1.99	2.17	1.81	1.73	1.55	1.81	1.66	1.69	1.78	1.96
Ti	0.22	0.16	0.19	0.15	0.20	0.14	0.16	0.22	0.21	0.24
мг/кг										
Li	55.2	29.5	27.8	34.6	27.7	31.9	39.1	24.6	27.1	28.7
Cu	19.2	10.6	9.8	12.3	16.3	9.4	13.6	11.1	12.5	13.3
Sr	1465	520	454	873	662	438	866	287	270	280
Ba	454	608	604	545	580	586	542	581	573	569
Be	1.8	2.2	2.1	1.8	1.8	2.2	2.1	2.3	2.4	2.4
Zn	52.8	19.6	23.1	25.8	37.1	20.0	26.4	26.5	33.1	38.7
Sc	7.4	4.5	4.9	5.0	6.7	4.6	5.5	5.8	6.5	7.4
V	13.5	7.8	9.9	9.3	13.3	7.7	9.3	11.2	11.8	13.3
La	17.7	13.2	17.8	15.7	19.2	15.5	15.0	19.6	21.0	22.2
Ce	40.6	26.2	30.9	29.3	38.8	27.8	30.9	27.7	40.8	41.4
Pb	24.8	22.6	23.8	17.9	22.5	18.0	17.1	24.7	20.7	23.9
P	588	190	268	284	587	173	160	289	224	208
V	54.8	24.5	26.5	23.0	42.5	28.6	28.8	41.5	46.8	51.9
As	22.3	13.2	10.5	9.6	9.5	14.5	14.4	13.6	16.3	17.1
S	2250	584	319	807	904	212	212	278	437	890
Cr	34.5	19.7	20.5	21.1	24.3	19.6	21.2	26.6	30.7	35.6
Mn	477	234	321	320	673	228	281	377	302	340
Co	9.6	5.2	5.9	4.9	8.5	5.5	6.4	7.8	7.7	9.0
Ni	21.9	9.5	10.0	9.4	15.6	8.7	13.5	12.8	17.7	22.2

Для солончаков характерен наиболее контрастный характер внутрипрофильного распределения Ca, S, P, Zn, Mg, Sr. Процессы засоления способствуют «концентрированию» элементов, особенно в горизонте Sq, для которого характерно совмещение испарительного, окислительного и сорбционного барьеров. Геохимическая специализация этого горизонта определяется накоплением следующих элементов: $As_{4,0}Sr_{3,9}Li_{2,8}S_{2,4}Mg_{2,0}Ca_{2,0}Pb_{1,7}$. В озерных осадках этой почвы аккумулируются $Ca_{2,7}Sr_{2,3}As_{1,7}Li_{1,7}Ba_{1,4}$ (таблица 2). Средняя контрастность радиальной дифференциации в солончаках характерна для S, As, Mg, Sr, Li. Наиболее контрастный характер внутрипрофильного распределения встречается у Ca, S, P, Zn, Mg, Sr. Геохимической особенностью изученной почвы является повышенное

содержание As, коэффициент концентрации изменяется от 1,7 до 4,0. Средняя контрастность радиальной дифференциации в солончаках характерна для S, As, Mg, Sr, Li. Коэффициенты концентрации (КК) в пределах 0,9-1,1 выражены для Na, Ba, Co, Ni; КК < 0,9 типичен для P, K, Zn, Al, Sc, Ce, Cu, Be, Zn, Y, La, Ti, Ce, V, Cr, Fe. В слоях 5-20(22) и 20(22)-30 см содержание элементов достаточно однотипно: наибольший коэффициент концентрации характерен для Mg, As, Ba, Sr, Pb.

Данные элементного состава гумусово-квизиглеевой почвы показывают (таблица), что валовое содержание Na близко во всех горизонтах (1,55-1,81 %). Очень высокая вариабельность отмечается в распределении биофильных и типоморфных для степных ландшафтов элементов. Содержание Sr в профиле изученных почв изменяется в 6,3 (138-866 мг/кг), Ca в 4,7 (1,52-7,16%), S в 4,3 (212-914 мг/кг), P в 3,7 (160-587 мг/кг), Mn в 2,9 (225-673 мг/кг) и Mg в 2,6 раза (0,82-2,12%). В гумусовом горизонте накапливаются сера, фосфор, марганец, кальций, в озерных отложениях – стронций, кальций и магний. По сравнению с кларком литосферы аккумулируются в светлогумусовом горизонте $Ca_{2,8}Sr_{1,8}As_{1,7}Pb_{1,5}Li_{1,4}Ba_{1,4}$. Кларк концентрации серы и калия составляет 0,9, а остальных изученных элементов КК<0,9. В переходном горизонте АСs больше всего концентрируются $As_{2,6}Li_{1,6}Ba_{1,5}$, в озерных отложениях – $As_{2,6}Sr_{2,3}Li_{2,0}Ba_{1,4}$, $Mg_{1,2}Ca_{1,2}$. Валовое содержание элементов группы железа низкое, особенно Cr и Cu (таблица 2). По распределению большинства изученных элементов в изученных почвах отмечается слабо контрастная внутрипрофильная дифференциации. Геохимическими особенностями гумусово-квизиглеевых почв является повышенное содержание As.

Данные элементного состава зональной светлогумусовой почвы показывают (таблица 2), что по распределению элементов почвенный профиль очень слабо дифференцирован, значительно варьирует только содержание серы (278-890 мг/кг). Максимальная концентрация этого элемента отмечается в озерных отложениях. Незначительное накопление фосфора и марганца выражено в гумусовом горизонте. Накопление элементов вышекларковых значений отмечены для $As_{2,4-3,1}Pb_{1,4-1,6}Ba_{1,4-1,5}Li_{1,2-1,4}$. Обращает внимание очень низкое содержание кальция и магния. Кларк концентрации этих элементов составляет всего 0,2-0,5. КК близкий к 1 характерен для Na, K, Be, Al, Co. КК остальных изученных породообразующих элементов в пределах 0,2-0,7.

Проведенные исследования показали, что региональные геохимические особенности связаны с накоплением As во всех генетических горизонтах изученных почв. Для солончаков (разр. Б-1) характерен контрастный характер внутрипрофильного распределения Ca, S, P, Zn, Mg, Sr. Накопительная концентрация элементов отмечается в солончаковом горизонте, для которого характерно совмещение испарительного, окислительного и сорбционного барьеров. Геохимическая специализация этого горизонта связана с накоплением As, Sr, Li, S, Mg, Ca, Pb. В озерных осадках изученных почв аккумулируются As, Mg, Ca, Li, Sr, Ba. В гумусово-квизиглеевой почве отмечается очень высокая вариабельность в распределении биофильных элементов. По распределению большинства изученных элементов отмечается слабо контрастная внутрипрофильная дифференциации. В гумусовом горизонте накапливаются S, P, Mn, Ca, As, в озерных отложениях – As, Sr, Ca, Mg. в переходном горизонте (Асs) – As, Li, Ba. В зональной светлогумусовой почве (разр. Б-3) выше кларковых значений содержится только As и Pb, при этом отмечается однотипное с эндемичными почвами районов проявления болезни Кашина-Бека соотношение Ca/Sr.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания Института общей и экспериментальной биологии СО РАН (№ госрегистрации 121030100228-4).

Библиографический список

1. Баженова О.И., Черкашина А.А. Голоценовый морфолитогенез в озерных котловинах юго-восточного Забайкалья // Геоморфология. 2018. № 2. – С.4-19.
2. Борзенко С.В. Причины гидрогеохимического разнообразия соленых озер Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. – С. 51-60.

3. 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.
4. Парфенов Л. М., Попеко Л. И., Томуртоого О. Проблемы тектоники Монголо-Охотского орогенного пояса // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 5. – С. 24-43.
5. Хадеева Е. Р. Галогенез почв Забайкалья и Предбайкалья. Автореф. дис... канд. биол. наук. Иркутск, 2021. – 20 с.

Современное минералообразование в техногенных массивах Дарасунского месторождения (Забайкальский край)

Филенко Р.А., Юргенсон Г.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, filrom@yandex.ru

Аннотация. Представленные результаты исследования новообразованных минералов, которые были обнаружены на различных горнорудных техногенных объектах, таких как золотоизвлекательная фабрика, хвостохранилище, отвалы. Проведено комплексное изучение продуктов современного минералообразования с применением синхронного термического, ИК-спектроскопического, микрозондового и рентгеноструктурного анализов. Выявлено большое распространение сульфатов, главным образом, кристаллогидратов железа и марганца.

Ключевые слова: современное минералообразование, техногенные массивы, сульфаты магния, Дарасунское месторождение золота.

Modern mineral formation in technogenic massifs of the Darasunskoye deposit (Zabaykalsky Krai)

Filenko R.A., Yurgenson G.A.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, filrom@yandex.ru

Abstract. The presented results of the study of newly formed minerals at various man-made mining facilities such as a gold recovery factory, a tailings dump, dumps. A comprehensive study of the products of modern mineral formation was carried out using synchronous thermal, IR spectroscopic, microprobe and X-ray diffraction analyses. A large distribution of sulfates, mainly iron and manganese crystallohydrates, has been revealed.

Keywords: modern mineral formation, man-made massifs, magnesium sulfates, Darasun gold deposit.

Проблема изучения современного минералообразования относится к многоаспектным и особенно актуализируется в горно-промышленных регионах, где идет интенсивное воздействие на природные ландшафты, компоненты которых испытывают коренную трансформацию. Функционирование водотоков, образующихся вследствие нарушения естественных гидрогеологических систем, широко проявлено на участках подземной и открытой разработки рудных месторождений, а также в геотехногенных массивах хвостохранилищ обогатительных фабрик и скоплений вскрышных горных пород и складов руд. Здесь происходит вынос и водная миграция различных, в том числе и токсичных химических элементов.

Наибольшую экологическую опасность представляют химические элементы, мигрирующие в истинных растворах. В такой форме значительно дольше участвуют в миграционном процессе Zn, Cu, Mg, Ni, Co, U, Mo и другие химические элементы, но и они в итоге выводятся из миграционного потока на различных, прежде всего окислительных, восстановительных, сорбционных, физико-химических и биологических барьерах.

В результате наблюдаемые даже визуально, современные минеральные образования являются четкими индикаторами как процессов миграции и концентрирования химических элементов, так и критерием высокой минерализации водотока, а также и начала его очищения.

Дарасунское месторождение расположено в пределах пгт Вершино-Дарасунский Тунгокоченского района Забайкальского края (рисунок 1). В паспорте месторождения определено, что оно открыто в 1886 г. В 1911 г. Началась отработка жилы Главной. Активизация добычи рудного золота началась с 1921 г. В 1934 г. была введена в работу обогатительная фабрика № 1 производительностью 500 т руды в сутки. Она явилась первым в стране предприятием по переработке руды гравитационно-флотационными процессами с получением золотосодержащих концентратов для последующей металлургической переработки. В 1952 г. была введена в эксплуатацию обогатительная фабрика № 2. К этому времени Дарасунский ГОК, отрабатывая основные жилы, достиг стабильной мощности по добыче и обработке более 300 тыс. т руды в год, добывая до 3 т золота, попутно серебро, медь, мышьяк [2].

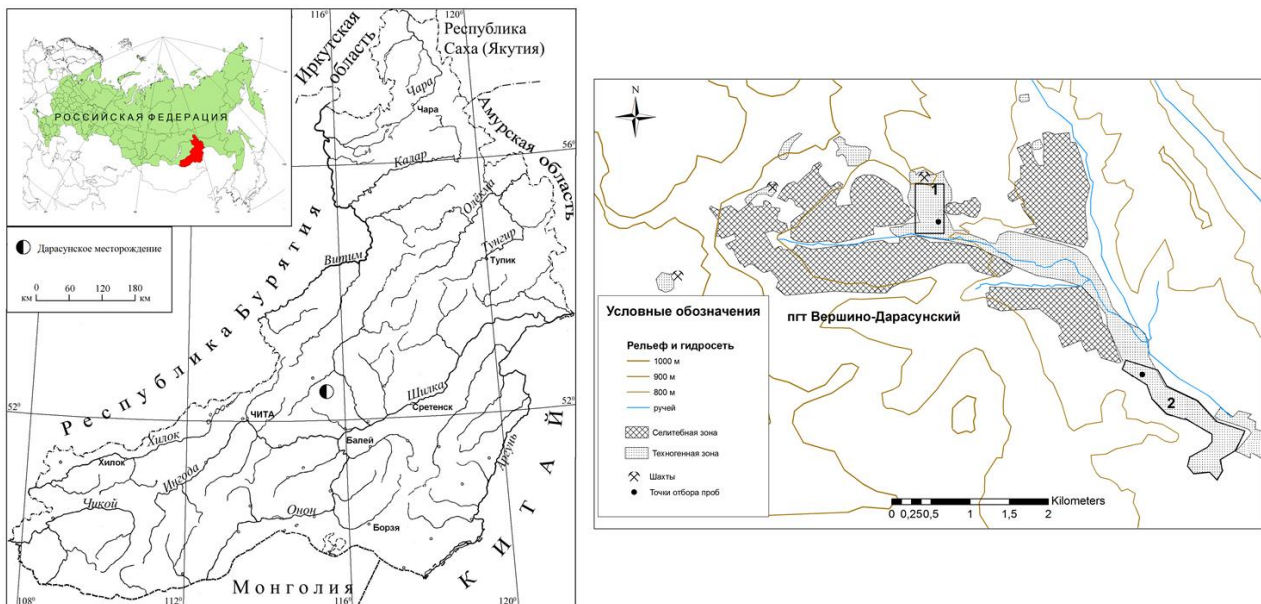


Рисунок 1. Карта-схема расположения Дарасунского месторождения и точек отбора проб СМО:
1 – старая золотоизвлекательная фабрика; 2 – хвостохранилище.

Обогатительная фабрика, оснащенная лучшим по тому времени отечественным и импортным оборудованием, имела трехстадийное с замкнутым циклом дробильное отделение, обеспечивающее качественную подготовку руды для мельниц. Двухстадийное измельчение и развитые схемы флотации позволяли обрабатывать по 300 тыс. т руды в год при извлечении золота свыше 90 %. На фабрике шла постоянная модернизация технологических схем, приспособляющая их к меняющемуся характеру руд. В середине 70-х гг. основные запасы по главным жилам были отработаны, и рудник стал снижать уровень добычи золота. В перестроечные годы (1992 г.) добыча снизилась до 141,3 тыс. т по руде и 669,6 кг по металлу. В 1998 году Дарасунский рудник дал всего 362 кг драгоценного металла. С начала разработки месторождения добыто 8632 тыс. т руды и 118215 кг металла. Перспективы увеличения запасов не исчерпаны [2].

За время работы ЗИФ-1 и ЗИФ-2 образовалось хвостохранилище площадью около 80 га, в котором было накоплено по данным на 1998 год 4,71 млн. т, по последним сводкам 6,45 млн. т отходов переработки золотосодержащих руд.

Дарасунское месторождение золота относится к жильному типу золото-кварцево-сульфидной формации. Жилы находятся в гранодиоритах, граносиенитах и габбро-амфиболитах и связаны с амуджиканским субвулканическим комплексом, представленным трещинными интрузиями и штоками плагиогранит- и гранодиорит-порфиоров, дайками кварцевых диорит-порфиринов, гранофинов, фельзитов, пехштейнов. Размещение золоторудных жил контролируется участками брекчий взрыва, трещинами скалывания и зонами сдвигов, сбрососдвигов, расланцевания и взбросами, надвигами и сдвиго-сбросами.

Рудные жилы относительно просты по форме, выдержаны по простиранию, но имеют раздувы и пережимы. Протяженность крупных жил (Главная, Свинцовая, Электрические, Ново-Кузнецкая и др.) по простиранию 1,0-2,5 км, средних – 0,3-1,0 км и мелких – 70-300 метров. Мощность 0,01-2 м (средняя 0,1-0,25 м), а вместе с околосветлыми вкрапленными рудами – 0,6-1,5 метра. В рудах присутствует около 100 минеральных видов. Отличительной чертой руд Дарасунского месторождения является высокое (15-60 %) содержание сульфидов (пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит, сфалерит, пирротин и др.) и сульфосолей (бурнонит, тетраэдрит, фрейбергит, тетрадимит и др.). Главные рудные минералы: пирит, арсенопирит, сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, бурнонит, блеклые руды (тетраэдрит, фрейбергит и др.); из них основные пирит (14 %), арсенопирит (12 %), смайтит, тетрадимит, матильдит, павонит, плагионит, хедлейит, верлит, виттихенит относятся к очень редким минералам, часть которых впервые описана в РФ на этом

месторождении. Жильные минералы представлены кварцем (32 %), карбонатами (11 %), турмалином, хлоритом, мусковитом и другими.

Руды содержат в среднем 14,6-15,4 г/т золота при общей вариации от единиц до 500 г/т. Золото самородное мелкое и субмикроскопичное от 0,06-1,5 мкм до 2 мм. Основными носителями золота являются пирит (19,8 г/т), арсенопирит (37,3 г/т), халькопирит (84,6 г/т), сульфосоли (13,9 г/т). Нередко Au находится в теллуридах – петците, калаверите, креннерите и др. Высокая мышьяковистость руд усложняет технологический процесс их обогащения и переработки. Полезными компонентами являются золото, серебро, медь, свинец, цинк.

В процессе выполнения экспедиционных исследований летом 2022 года в районе Дарасунского месторождения нами попутно изучались новообразованные минералы на поверхностях дамб и ложа хвостохранилища, стенках карьеров, берегах водотоков, а также на строительных и технологических конструкциях золотоизвлекательных фабрик.

При обнаружении продуктов современного минералообразования проводилось его описание, фотографирование и отбор проб с последующей упаковкой и маркировкой.

В лабораторных условиях производилась при необходимости сушка и очистка проб от инородных примесей, а также по возможности под бинокулярном МБС-2 выполнялось деление на минеральные монофракции по цвету и облику. Очищенные монофракции минералов подвергались в дальнейшем всесторонним минералогическим исследованиям с применением рентгеноструктурного и термического анализов, а также инфракрасной спектроскопии.

Для определения минерального состава пробы, истёртые в агатовой ступке со спиртом, исследованы методом порошковой дифракции на рентгеновском дифрактометре ДРОН – 3.0 в ЦКП «Геодинамика и геохронология» (аналитик М.Н. Рубцова). Условия съёмки: излучение – $\text{CuK}\alpha$, Ni – фильтр, $V=25$ кВ, $I=20$ мА, шаг сканирования – 0.05° . Рентгенограммы идентифицированы с помощью программы поиска фаз. Для идентификации глинистых минералов осуществлялась подготовка ориентированного материала проб осаждением глинистой фракции на стеклянной подложке, прогреванием при температуре 550° в течение 3-х часов и насыщением этиленгликолем.

Синхронный термический анализ проводился на приборе STA 449 F1 Jupiter фирмы NETZSCH (Германия) в ИПРЭК СО РАН. Использовались платиновые тигли. Скорость нагрева во всех измерениях составляла $20^\circ\text{C}/\text{минуту}$. Для исследования бралась навеска массой 10 мг. Печь продувалась атмосферным воздухом.

Инфракрасные спектры регистрировались в лаборатории ЗабГУ (аналитик Ф.Н. Бочарников) на спектрофотометре FTIR-8400S SHIMADZU, который регистрирует инфракрасные спектры пропускания исследуемых проб в диапазоне волновых чисел $4000\text{-}400\text{ см}^{-1}$, в таблетках KBr.

Данные рентгеноструктурного анализа свидетельствуют, что выявленные минеральные ассоциации в основном состоят из сульфатов, но в зависимости от мест их образования, а также времени отбора, имеют некоторые отличия в катионном составе, количестве кристаллизационной воды и характере примесей (таблица 1).

Проба ВД-22/СМО-1 отбиралась в сухой весенний период на заброшенной золотоизвлекательной фабрике (GPS $N52^\circ22'03.97''$ $E115^\circ32'28.85''$), где сохранились резервуары с истертой рудой до песчано-глинистой фракции, на поверхности которой наблюдались белые и светло-коричневые корки, которые постепенно отслаивались от подстилающего субстрата. Минеральный состав пробы представлен в таблице 1.

В летний влажный период новообразованные минералы наблюдались в большом количестве только под выступающими карнизами, куда не попадает напрямую атмосферная влага. Здесь продукты современного минералообразования представлены многослойными корками и натеками белого и коричневого цвета. Минеральный состав этих образований характеризует проба ВД-22/СМО-3 (таблица 1).

Состав и цвет образца ВД-22/СМО-2, отобранного с вертикальной кирпичной кладки изначально предполагался как обусловленный присутствием халькантита, но проведенные

анализы показали, что проба на 90 % состоит из галита. Возможно, поваренная соль добавлялась в раствор при строительстве здания, либо это остатки от побелки стен.

Таблица 1

Минеральный состав проб СМО по данным рентгенофазового анализа

№ п/п	Маркировка	Описание, локация, дата	Фазовый состав
1	ВД-22/СМО-1	Белесые коры на поверхности глин под чаном на старой фабрике, 23.04.22 г.	Эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) ($70\% \pm 5$), кварц ($10\% \pm 5$), следы гипса, амфибола, кальцита и, возможно, доломита. Глинистые минералы: каолинит ($5\% \pm 2$), хлорит ($5\% \pm 2$), гидрослюда ($5\% \pm 2$), следы смектита и смешанослойного минерала гидрослюда-смектит
2	ВД-22/СМО-2	Голубые потеки и примазки на поверхности стены из красного кирпича на старой фабрике 22.08.22 г.	Галит ($90\% \pm 5$), гипс ($5\% \pm 2$), следы кварца и амфибола
3	ВД-22/СМО-3	Белесые потеки и корки сульфатов на поверхности глин из чана на старой фабрике 22.08.22 г.	Пикерингит ($MgAl_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$) ($50\% \pm 5$), эпсомит ($46\% \pm 5$), возможно следы амфибола
4	ВД-22/СМО-4	Желтоватые корки сульфатов на железных конструкциях чана на старой фабрике 22.08.22 г.	Мелантерит ($FeSO_4(H_2O)_7$). Параметры кристаллической решетки: $a=14,10 \pm 0,02 \text{ \AA}$, $b=6,51 \pm 0,01 \text{ \AA}$, $c=10,97 \pm 0,02 \text{ \AA}$, $\beta=105,87^\circ \pm 0,10$, $V=969 \text{ \AA}^3$
5	ВД-22/СМО-6	Белесые корки на поверхности глинисто-песчаного материала хвостохранилища 22.08.22 г.	Эпсомит ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$), следы гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Параметры кристаллической решетки эпсомита: $a=11,87 \pm 0,01 \text{ \AA}$, $b=11,99 \pm 0,01 \text{ \AA}$, $c=6,85 \pm 0,01 \text{ \AA}$, $V=974 \text{ \AA}^3$
6	ВД-22/СМО-7	Белесые корочки и потеки на поверхности глинисто-песчаного материала на дамбе хвостохранилища 22.08.22 г.	Эпсомит ($35\% \pm 5$), кварц ($32\% \pm 5$), гипс ($5\% \pm 2$), полевые шпаты ($7\% \pm 3$), следы амфибола и кальцита. Глинистые минералы: каолинит ($5\% \pm 2$), гидрослюда ($7\% \pm 3$), хлорит ($5\% \pm 2$), следы смектита и, возможно, смешанослойных минералов

Изучение продуктов современного минералообразования на поверхности заполненного старого хвостохранилища Вершинодарасунской золотоизвлекательной фабрики показало преобладание фазы эпсомита среди новообразованных минералов на испарительном геохимическом барьере (рисунок 2).

Основные линии эпсомита по справочным данным [5] в порядке убывания следующие: 4.216 (100), 4.200 (75), 5.98 (30), 5.34 (30), 2.658 (25), 5.31 (20), 2.880 (20), что хорошо согласуется с нашими результатами рентгенометрических исследований образцов с хвостохранилищ ЗИФ Балецкого и Дарасунского месторождений.

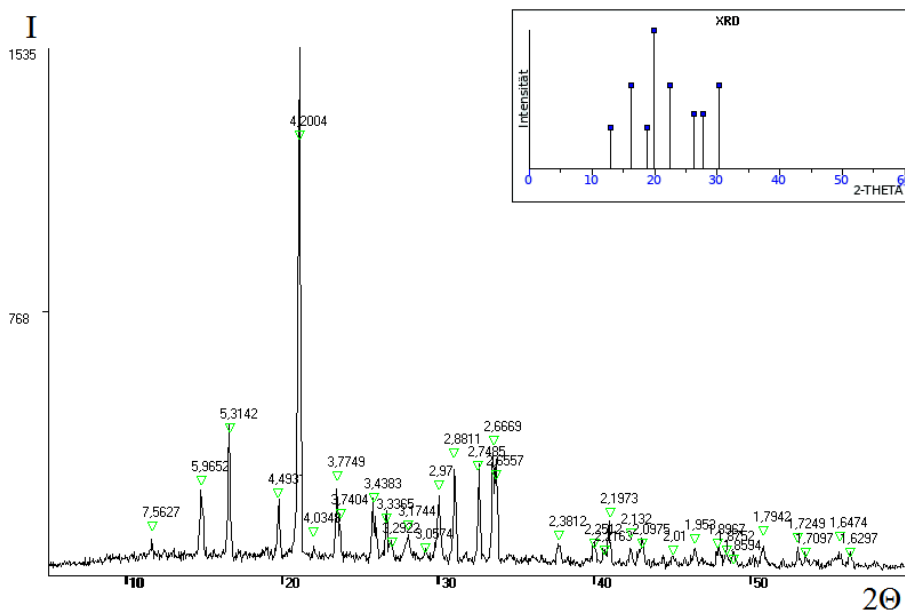


Рисунок 2. Дифрактограмма пробы с эпсомитовым составом (обр. ВД-22/СМО-6) и опубликованные данные [5].

На рисунке 3 показана кривая ДСК образца ВД-22/СМО-6, на которой фиксируются эндозффекты с экстремумами 136,0; 203,9; 292,9 °С, соответствующие десорбции кристаллогидратной воды, выход которой виден на ТГ кривой. Потеря массы при этом в сумме составляет около 40 % , что ниже расчетной на 11 % из-за примесей гипса и других сульфатов. В высокотемпературной области термограммы в интервале 900-1150 °С (экстремум при 1056,3 °С) наблюдается разложение безводного сульфата магния сопровождающаяся потерей массы, связанной в выходе оксида серы [3].

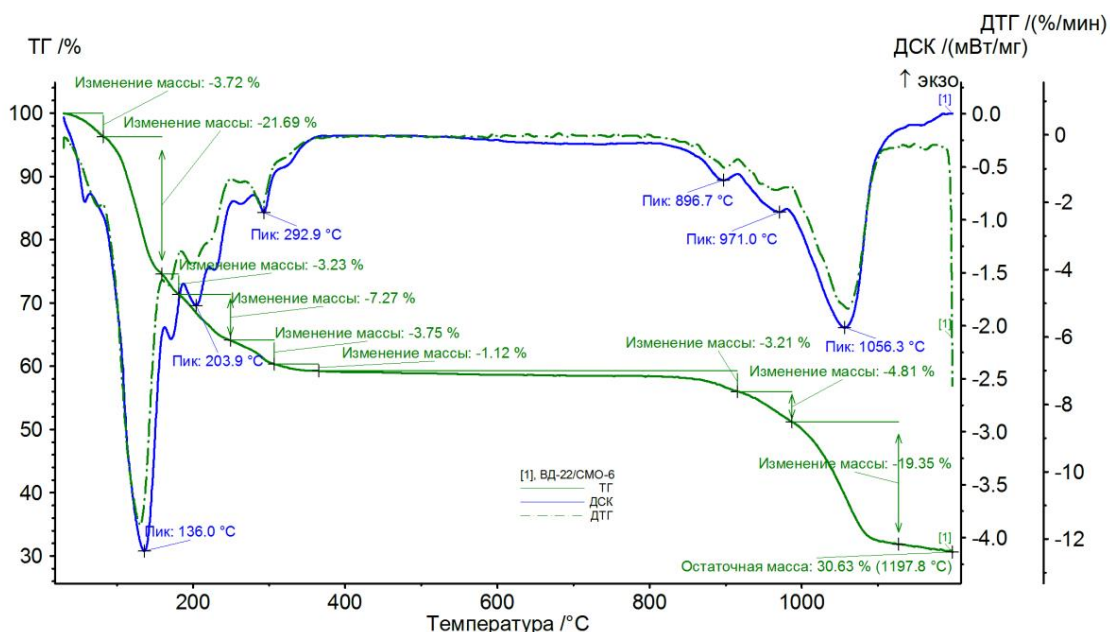


Рисунок 3. Термограмма образца с эпсомитом (обр. ВД-22/СМО-6).

На приведенном ниже ИК-спектре образца с эпсомитом (рисунок 4) также подтверждается, что данной пробе присутствует молекулярная вода, фиксируемая валентными колебаниями в области $3000-3600 \text{ см}^{-1}$. Полосы поглощения в области $400-700 \text{ см}^{-1}$ относятся к деформационным колебаниям Mg-O связей, $1100-1150 \text{ см}^{-1}$ – S-O связей [1].

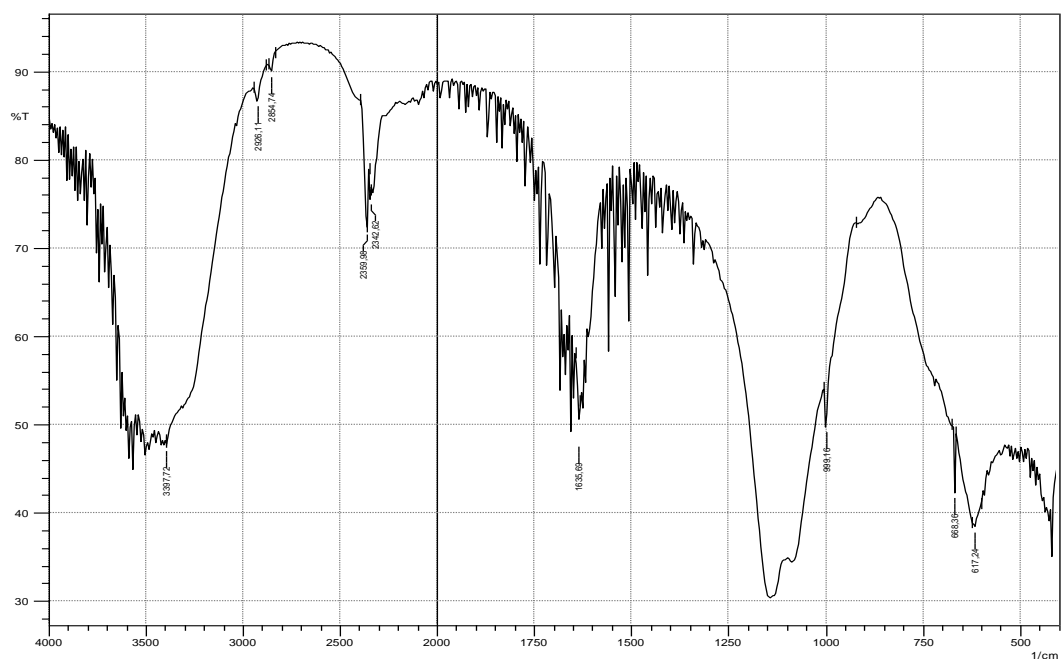


Рисунок 4. ИК-спектр образца с эпсомитом (обр. ВД-22/СМО-6).

Как видно из полученных данных, максимальным развитием характеризуется эпсомит. Это обусловлено тем, что из всех химических элементов второй группы Периодической системы наиболее подвижным в гипергенных условиях оказывается магний, все сульфаты которого водорастворимы и могут иметь разное число молекул кристаллизационной воды. В меньшей мере это относится к кальцию, дающему, в основном, гипс и полугидраты сульфата кальция бассанит или β -полугидрат сульфата кальция, встречающийся достаточно редко [4].

Библиографический список

1. Болдырев А. И. Инфракрасные спектры минералов. – М.: «Недра», 1976. – 199 с.
2. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания Приказа рудокопных дел / Г.А. Юргенсон, В.С. Четкин, В.М. Асосков и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1999. – 574 с.
3. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. – Л.: Недра, 1974. – 399 с.
4. Юргенсон Г.А., Смирнова Н.Г., Каренина Л.А. Об особенностях минералогии зоны окисления Удоканского месторождения меди // Вестн. науч. инф. Заб. фил. Геогр. о-ва СССР. – Чита, 1968. № 9. – С. 3-10.
5. Anthony J W, Bideaux R A, Bladh K W, and Nichols M C (1990) Handbook of Mineralogy, Mineral Data Publishing, Tucson Arizona, USA, by permission of the Mineralogical Society of America.

4. Биогеохимия природных ландшафтов и зоны геотехногенеза

УДК 543:611.78(=1.571.55)

Элементный состав волос жителей Забайкальского края

Барановская Н.В.¹, Казакова А.А.¹, Вершкова Е.М.¹, Михайлова Л.А.²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, nata@tpu.ru, aak303@tpu.ru, vem@tpu.ru,

²Читинская государственная медицинская академия, г.Чита, Россия, mihailova-la@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся оригинальные данные о элементном составе волос жителей из разных населенных пунктов Забайкальского края. У каждого населенного пункта есть особенности в составе волос жителей, что, вероятнее всего, связано с геохимическими особенностями территории и индивидуальными особенностями организма.

Ключевые слова: элементный состав, волосы, геохимия, Забайкальский край.

Elemental composition of hair of the Zabaikalsky Krai residents

Baranovskaya N.V.¹, Kazakova A.A.¹, Vershkova E.M.¹, Mikhailova L.A.²

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, nata@tpu.ru, aak303@tpu.ru, vem@tpu.ru

²Chita State Medical Academy, Chita, Russia, mihailova-la@mail.ru

Abstract. This article presents original data on elemental composition of hair of residents from different localities of Zabaikalsky krai. Each locality has some peculiarities in hair composition that most likely are related to geochemical peculiarities of the area and individual organism peculiarities.

Keywords: element composition, hair composition, geochemistry, Zabaikalsky Krai.

Введение

Забайкальский край представляет собой геохимически неоднородную территорию. Здесь имеются районы с избытком или недостатком некоторых химических элементов в воде, почве и других компонентах ландшафтов [1], территории с такими особенностями называются геохимическими провинциями. Помимо этого, природные условия и промышленный потенциал Забайкальского края составляют единый крупный горнорудный регион России. Вследствие наличия такой богатой минерально-сырьевой базы происходит постоянная добыча сырья с последующим неравномерным размещением техногенных отходов производства в регионе, они представлены отвалами вскрышных и вмещающих пород, некондиционными рудами, отходами обогатительных и золотоизвлекающих фабрик, металлургическими шлаками, золошлакоотвалами тепловых электростанций [2]. В результате дисбаланс макро- и микроэлементов вызванный наличием геохимических провинций и техногенным воздействием влияет на экосистему и человека в целом. В связи с этим необходимо проводить постоянные эколого-геохимические исследования для наблюдения за изменениями в окружающей среде.

Волосы являются одним из самых удобных биомаркёров для оценки геохимических особенностей территории, благодаря способности концентрировать химические элементы, находящиеся в различных компонентах окружающей среды. Их анализ относится к наиболее перспективным методам интегральной оценки состояния среды обитания и её влияния на организм человека [3].

Цель исследования – установить биогеохимическую спецификацию волос населения Забайкальского края и выявить индикаторные показатели геохимических обстановок.

Материалы и методы

Всего для исследования было отобрано 130 проб в 17 населенных пунктах: с. Акатуй, с. Александровский Завод, с. Большой Зерентуй, с. Бурукан, с. Бутунтай, с. Газимурский Завод, д. Георгиевка, с. Кокуй 1, с. Кокуй 2, с. Калга, пгт. Кличка, с. Михайловка, с. Нерчинский Завод, с. Тайна, с. Уровские Ключи, с. Хапчеранга, пгт. Шерловая Гора.

Содержание химических элементов в пробах определяли инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) в лаборатории НИ ТПУ.

Для построения геохимического ряда был использован коэффициент концентрации (КК) (1)

$$KK = \frac{C_a}{Me}, \quad (1)$$

где C_a – среднее содержание элемента; Me – медиана по выборке.

$Z_{СПН}$ – суммарный показатель накопления химических элементов рассчитывается по формуле (2):

$$Z_{СПН} = \sum(KK \geq 1). \quad (2)$$

Результаты

Нами получены статистические показатели для 27 химических элементов в составе волос жителей 17 населенных пунктов Забайкальского края. Общее количество проб, для которых рассчитывались среднеарифметическое значение, медиана, разброс и другие статистические показатели, составило 130. Для выявления специфики концентрирования химических элементов в составе волос жителей каждого населенного пункта нами было проведено нормирование среднеарифметических показателей, полученных для конкретного населенного пункта, к медиане по Забайкальскому краю. По полученным коэффициентам концентрации были построены геохимические ряды, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Геохимическая специализация волос жителей населенных пунктов Забайкальского края (относительно медианы по выборке)

Населенный пункт	Геохимический ряд	$Z_{СПН}$
Акакуй	Sr _{9,3} Au _{5,5} Ca _{4,9} Sm _{4,4} Tb _{2,7} Ag _{2,6} Cs _{2,6} Ba _{1,8} La _{1,7} Nd _{1,7} Th _{1,7} Ce _{1,7} Eu _{1,6} Br _{1,5} Zn _{1,5} Lu _{1,5} Yb _{1,3}	48
Александровский завод	Ag _{14,6} Sr _{12,1} Ba _{10,7} La _{10,7} Na _{10,2} Sm _{8,2} Br _{8,1} Nd _{7,7} Tb _{6,4} Sc _{6,3} Ta _{6,2} Rb _{5,3} Ca _{4,7} Ce _{4,5} Cs _{3,6} Lu _{3,5} Eu _{2,9} Sb _{2,8} Au _{2,6} U _{2,2} Yb _{1,9} Co _{1,7} Zn _{1,4} Th _{1,4} Fe _{1,1}	141
Большой Зерентуй	Br _{14,1} Sm _{9,4} Cs _{5,2} Ca _{4,5} Na _{4,1} Rb _{4,1} Nd _{3,6} La _{3,6} Ce _{3,6} Eu ₃ Ta _{2,5} Ba _{2,5} Sb _{2,4} As _{2,2} Au _{2,1} Tb _{1,9} Lu _{1,8} Th _{1,8} Zn _{1,7} Yb _{1,5} U _{1,2} Sr _{1,2}	78
Бурукан	Br _{34,7} Au _{5,1} Th _{3,7} Cs _{2,7} Fe _{2,3} Na _{2,2} Tb ₂ Rb _{1,2} Sr ₁ La ₁ Ce ₁ Nd ₁ Sm ₁ Yb ₁	60
Бутунтай	Sr _{6,9} Sm _{4,6} Au _{3,5} Ag _{3,3} La _{3,3} Cs _{3,3} Tb _{3,2} Ce _{3,2} Ca ₃ Ba ₃ Br _{2,8} Lu _{2,5} Th _{2,3} U _{2,1} Yb _{1,6} Zn _{1,5} Nd _{1,3} Eu _{1,3} Rb _{1,1} Sc ₁	55
Газимурский Завод	Br _{19,6} Ta _{6,2} Rb _{4,7} Ce _{3,4} Tb _{3,2} Sb _{3,1} Sm ₃ Na _{2,9} Eu _{2,5} Sr _{1,8} La _{1,7} Lu _{1,6} Ag _{1,4} Ca _{1,2} Ba _{1,1} Au ₁ Nd ₁ Yb ₁	60
Георгиевка	Cs _{13,5} Br _{10,8} Na _{6,2} Ag _{4,9} Rb _{4,6} Eu _{3,5} La _{3,3} Ce _{3,2} Lu _{3,2} Th ₃ Nd _{2,3} Sm _{2,3} Hf _{1,8} Ba _{1,7} Co _{1,6} U _{1,6} Zn _{1,3} Tb _{1,1} Sr ₁ Yb ₁ Au ₁	72
Калга	Fe _{28,6} Cr _{22,1} Tb _{11,7} Rb _{7,5} Nd _{6,4} Sb _{6,2} Na _{4,7} U _{4,2} Ag _{3,8} Hf _{3,6} Co _{3,3} Ba _{3,1} Eu ₃ Sc _{2,2} Br ₂ Lu _{1,9} Cs _{1,8} Ta _{1,7} Yb _{1,6} Zn _{1,6} Ce _{1,1} Sm ₁ Sr ₁ La ₁	125
Кличка	Tb _{2,8} Sm _{2,5} Au _{2,1} Nd _{2,1} Ca _{1,9} Ag _{1,9} U _{1,6} As _{1,6} Ta _{1,6} Lu _{1,5} Rb _{1,5} Ce _{1,4} Ba _{1,3} La _{1,3} Na _{1,1} Cs _{1,1} Zn _{1,1} Sr _{1,1}	29
Кокуй 1-й	Nd ₁₅ Sr _{9,7} Tb _{6,2} Br _{5,2} Sm _{4,7} Cs _{4,6} Au _{3,9} Ce _{3,8} Ag _{3,8} Ca _{3,2} La _{2,8} Ba _{2,6} Lu _{2,5} Sb _{1,8} Sc _{1,8} Cr _{1,7} Th _{1,5} U _{1,4} Zn _{1,3} Rb _{1,2} Ta _{1,2} Eu _{1,2} Na ₁	82
Кокуй 2-й	La _{8,8} Ce _{7,1} Au _{6,1} Sc _{5,6} Sr _{4,9} U _{4,9} Cs _{4,9} Lu _{4,7} Ca _{4,3} Sm ₄ Ag _{3,4} Nd _{3,4} Br _{3,1} Tb ₃ Ba _{2,9} Ta _{2,6} Zn _{2,1} Th ₂ Rb _{1,4} Eu _{1,4} Hf _{1,1} Yb _{1,1}	83
Михайловка	Nd ₁₂ Br _{11,5} Sm _{5,4} Ta _{4,7} Eu _{4,6} Lu _{4,2} Ce _{4,1} Au ₄ Ba ₃ La ₃ Th ₃ Ca _{2,6} Rb _{2,5} U _{2,2} Sc ₂ Na _{1,9} Ag _{1,6} Sb _{1,6} Tb _{1,3} Yb ₁ Zn ₁ Sr ₁	78
Нерчинский Завод	Ag ₂₁ Fe _{13,5} Cr _{11,9} Hf _{5,5} Cs _{2,6} Th _{2,5} Rb _{2,5} Au _{2,3} Sb _{1,9} Co _{1,8} Br _{1,8} U _{1,5} Ba _{1,4} Na _{1,3} As _{1,3} Tb _{1,2} Sc _{1,2} Eu _{1,2} Zn _{1,1} Ce ₁ Nd ₁ Sm ₁ Sr ₁ La ₁ Yb ₁ Ta ₁	84
Тайна	Ag _{31,6} Fe _{11,2} Na _{10,3} Br _{8,2} Rb _{7,8} Cr _{7,8} Cs _{3,9} Nd _{3,8} Ta _{2,9} Ba _{2,7} Sb _{2,1} Tb _{1,8} Eu _{1,7} Ca _{1,7} Co _{1,7} Hf _{1,6} La _{1,4} Ce _{1,4} Sc _{1,3} Sm _{1,2} Yb _{1,2} As _{1,1} U _{1,1} Sr ₁	111

Уровские Ключи	Fe ₁₇ Cr _{13,6} Ag _{12,2} As _{8,2} Rb _{7,7} Tb _{5,3} Nd _{4,9} Ta _{4,9} Na _{4,8} Hf _{4,3} Sb _{3,9} Ba _{2,4} Co _{2,1} Sc _{2,1} Yb ₂ Th _{1,6} Eu _{1,4} Cs ₁ Sr ₁ La ₁ Sm ₁	103
Хапчеранга	Fe _{13,2} Cr _{10,4} Tb _{5,1} Hf _{4,3} Au _{4,1} Nd _{3,6} Ag _{2,7} Rb _{2,5} Yb _{2,3} Cs _{1,8} Lu _{1,8} Ba _{1,6} As _{1,6} Co _{1,5} Th _{1,4} Sc _{1,4} Br _{1,2} Sm _{1,1} Ta _{1,1} Sb ₁ La ₁ Sr ₁	66
Шерловая Гора	Au _{43,9} Fe _{33,2} Cr _{28,5} Hf _{10,6} Tb _{7,5} Nd _{5,3} Lu _{5,1} Co _{4,5} Ba _{4,4} U _{3,8} Ag _{3,6} As _{2,6} Eu _{2,6} Ce _{2,6} Th _{2,5} Sc _{2,5} Sb _{2,5} Na _{2,4} Cs _{2,4} Rb _{2,3} Ca ₂ Ta _{1,6} Yb _{1,6} Br _{1,6} Zn _{1,1} Sr ₁ Sm ₁ La ₁	184

Обсуждение

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 130 добровольцев.

Полученные данные отображены в таблице 1.

В результатах анализа волос местных жителей прослеживается тенденция к избыточному накоплению довольно обширного ряда химических элементов.

Для населенных пунктов Александровский Завод, Нерчинский завод и Тайна характерно накопление серебра, железа и стронция. Содержания стронция в большинстве пунктов находится ниже предела обнаружения. Однако в населенном пункте Анакуй коэффициент концентрации этого элемента составляет 9,3.

Во всех населенных пунктах обнаружено повышенное содержание тербия – коэффициент концентрации во всех 17 населенных пунктах больше 1. Содержание рубидия и бария в 16 населенных пунктах выше, чем медианное значение по выборке, кроме населенных пунктов Акатуй и Бурукан, соответственно.

В волосах населения всех населенных пунктов, кроме Газимурского Завода и Михайловки обнаружено превышение концентраций цезия, а во всех населенных пунктах кроме Большого Зерентуя и Брукана – повышенные концентрации серебра, по сравнению с медианными значениями по выборке.

Анализ проб волос из п.г.т. Шерловая Гора показал тенденцию к накоплению всех 28 элементов, коэффициенты концентраций которых превышают 1. При этом коэффициент концентрации золота составляет 43,9, железа – 33,2, хрома – 28,5.

Для большинства населенных пунктов отмечается тенденция к накоплению брома – для населенных пунктов Газимурский Завод, Бурукан и Большой Зерентуй этот элемент имеет наибольший коэффициент концентрации (от 14,1 до 34,7). Высокие коэффициенты концентрации брома характерны также для сел Георгиевка и Михайловка.

Отчетливая железо-хромовая геохимическая специализация характерна для населенных пунктов Хапчеранга, Уровские Ключи и Калга. Высокие содержания этих элементов также отмечены в селах Нерчинский Завод, Тайна и п.г.т. Шерловая Гора. Эти же населенные пункты отличаются накоплением мышьяка, кобальта, сурьмы и гафния – элементов, которые в других населенных пунктах накапливаются менее активно.

Высокие концентрации урана были отмечены лишь в нескольких населенных пунктах (по уменьшению коэффициента концентрации): Кокуй 2-й, Калга, Шерловая Гора, Михайловка, Александровский Завод и Георгиевка.

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 селах Кличка, Кокуй 1-й и Кокуй 2-й

Суммарный показатель накопления химических элементов в исследованных населенных пунктах варьирует от 29 (село Кличка) до 184 (п.г.т. Шерловая Гора) и представлен в таблице 1 и на рисунке 1.

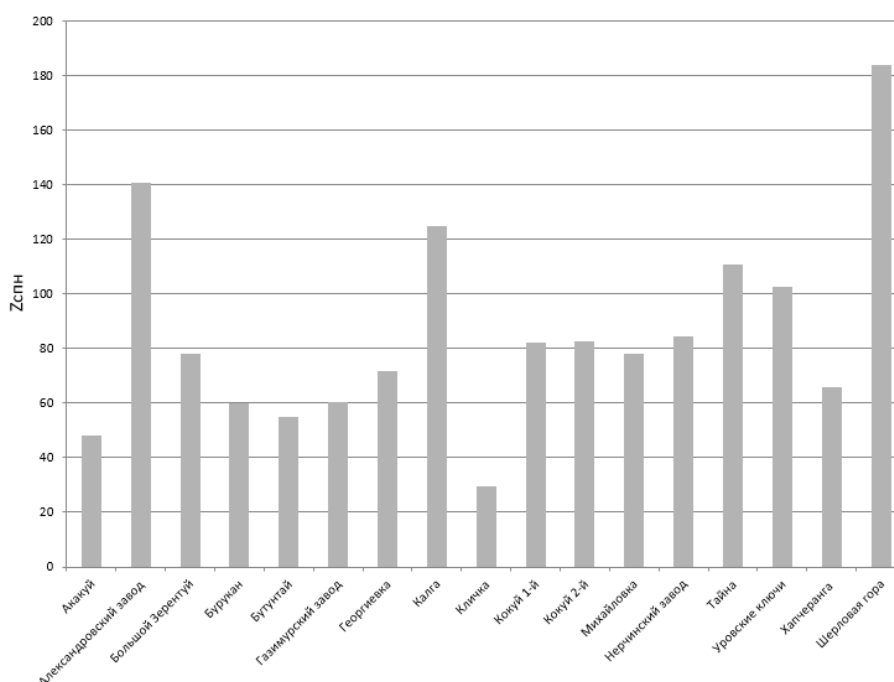


Рисунок 1. График сравнения населенных пунктов Забайкальского края по суммарному показателю накопления химических элементов.

Сравнение населенных пунктов по суммарному показателю накопления химических элементов в волосах жителей представлено на графике (рисунок 1). Наименьший показатель в посёлке Кличка – 29. Далее идет село Акакуй с суммарным показателем – 48. Показатель накопления больше 100 отмечен в селах Уровские ключи, Тайна, Калга, Александровский Завод и максимальный в п.г.т Шерловая гора – 184.

Выводы

Элементный состав волос жителей Забайкальского края разнообразен и для каждого населенного пункта характерно накопление различных элементов, при этом необходимо учитывать, что во всех населенных пунктах накапливаются два или более элементов. Такому явлению способствуют сложные геохимические обстановки и специализации в компонентах окружающей среды. Ситуацию усугубляет активная добыча и переработка полезных ископаемых.

Таким образом элементный состав волос является хорошим индикатором эколого-геохимической обстановки территории. Отражение специфики накопления химических элементов в каждом отдельно взятом населенном пункте и влияние на здоровье населения требует специальной проработки.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-64-47021.

Библиографический список

1. Горлачев В.П., Сердцев М.И. Экология Забайкалья и здоровье человека // Чита: ЗабГПУ. – 2003.
2. Петров В.А., Платэ А.Н., Ряховский В.М. Создание и формирование инфраструктуры пространственных данных по минерально-сырьевым ресурсам Забайкальского края // Мониторинг. Наука и технологии. – 2017. – №. 3. – С. 57-63.
3. Рихванов Л.П. и др. Комплексные геохимические исследования компонентов природной среды в эндемичных районах Забайкалья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – №. 2. – С. 7-25.

Накопление микроэлементов в волосах детского населения городов Забайкальского края

Бондаревич Е.А., Михайлова Л.А., Лескова О.А., Коцюржинская Н.Н.

ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», Чита, Россия, e-mail: bondarevich84@mail.ru

Аннотация. В исследовании приведены данные о среднем содержании микроэлементов (Rb, Sr, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, W, Pb, Th, U) в волосах детей и подростков Забайкальского края, проживающих в условиях техногенного загрязнения среды. Источники загрязнения существенно отличаются. В городах это предприятия и автотранспорт, в посёлке Кличка – заброшенные горнодобывающие предприятия.

Ключевые слова: волосы, микроэлементы, техногенное загрязнение окружающей среды.

Accumulation of trace elements in the hair of the child population of the cities of the Trans-baikal region

Bondarevich E.A., Mikhailova L.A., Leskova O.A., Kotsyurzhinskaya N.N.

Chita State Medical Academy, Chita, Russia, e-mail: bondarevich84@mail.ru

Abstract. The study presents data on the average content of trace elements (Rb, Sr, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, W, Pb, Th, U) in the hair of children and adolescents in the Trans-Baikal Territory living in conditions of technogenic pollution environment. The sources of pollution vary greatly. In cities, these are enterprises and vehicles, in the village of Klichka - abandoned mining enterprises.

Keywords: hair, microelements, technogenic environmental pollution.

Накопление микроэлементов в волосах широко используется в эколого-гигиенических исследованиях техногенно нарушенных территорий по всему миру [1-3]. Фиксация химических элементов в волосах обусловлено их составом, представленным в основном нерастворимым белком кератином, обогащенным серосодержащей аминокислотой – цистеином, обладающим высоким сродством к катионам металлов. Источниками загрязнения окружающей среды на территории городов Забайкальского края в основном являются предприятия теплоэнергетического комплекса и транспорт. Однако в окрестностях многих посёлков юго-восточных районов региона наибольший негативный эффект связан с выработками заброшенных предприятий горно-обогатительных комбинатов, разорившихся и разрушенных в 1990-е годы.

Цель исследования: оценить содержание в волосах детей и подростков Забайкальского края содержание некоторых микроэлементов.

Материалы и методы. Для исследований в период с 2018 по 2022 гг. отобраны образцы волос в городах Чита, Хилок, Нерчинск, Борзя и посёлке Кличка (Приаргунский район). Определение содержания химических элементов в пробах волос проводили рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия). Пробы волос взвешивали на аналитических весах и навески массой 50,0-100,0 мг подвергали мокрому озолению. Для озоления проб их переносили в кварцевые стаканчики, приливали по 1000,0 мкл концентрированной HNO_3 и добавляли по 100,0 мкл 30 %-ного раствора H_2O_2 , после пробы выдерживали до полного испарения жидкости в сухожаровом шкафу и прокаливали в муфельной печи при 500 °С.

Полученные сухие осадки растворяли в сверхчистой воде и к аликвоте добавляли внутренний стандарт (соль Ge с концентрацией 2,50 мг/дм³). Наносили 10,0 мкл пробы на кварцевый прободержатель, а затем высушивали. После снятия спектров содержания элементов в пробе они подвергались обработке в программе Spectra ver. 7.8.2.0 с определением среднего содержания.

Результаты и их обсуждение. Нормирующие показатели содержания микро- и макроэлементов в волосах населения России крайне вариабельны, и по большинству элементов такие данные отсутствуют. Анализ полученных результатов (рисунок 1) у детей и подростков Забайкалья выявил превышение средних массовых концентраций, по отношению к региональным показателям у жителей городов Хилок и Чита. По рубидию, олову, сурьме,

йоду, цезию, барию, лантану, церию, вольфраму, торию, и урану выявлено 2-3 кратные превышения среднерегионального содержание в волосах девушек г. Читы. У юношей города показатели превышали среднерегиональный, однако их величины были гораздо меньшими. Природные геохимические условия в Чите при этом не относятся к типичным биогеохимическим аномалиям. Однако техногенез в Чите характеризуется как очень интенсивный, особенно возрастающий в осенне-зимний период. Объяснение таких результатов может базироваться на следующих фактах: девушки имеют гораздо большую длину волос, и время экспозиции этого биосубстрата по отношению к загрязнителям большее, чем у юношей. По видимому основным источником загрязнения волос в крупных городах Забайкалья служит аэрогенный путь, при котором из атмосферных аэрозолей и смога микроэлементы могут перемещаться в белковые структуры волос. Алиментарный путь, особенно в условиях дефицита йода, не может обеспечить столь существенных значений массовой концентрации большинства микроэлементов.

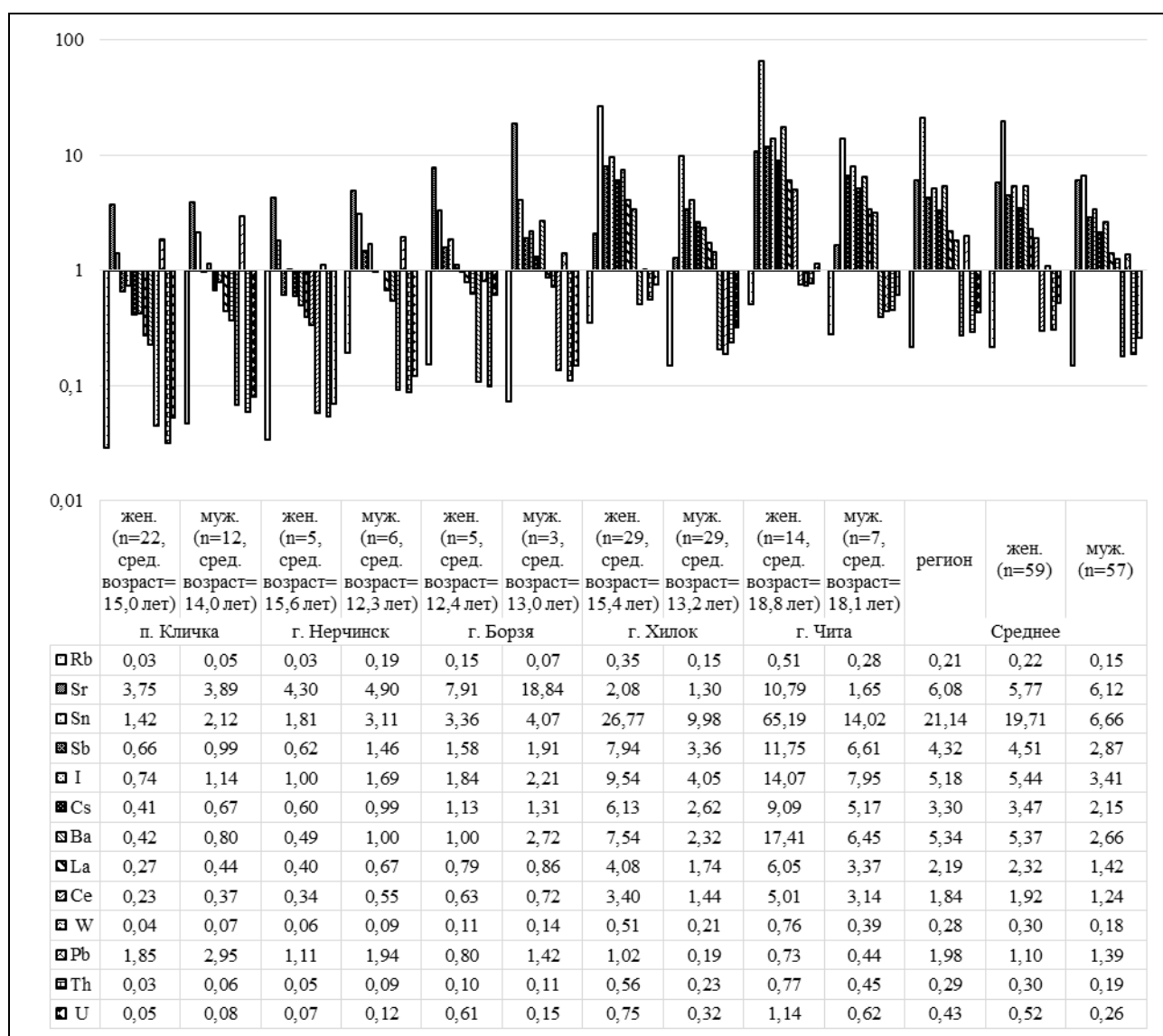


Рисунок 1. Содержание микроэлементов в волосах детей и подростков Забайкальского края, в мг/кг.

Экологически неблагополучный посёлок Кличка характеризовался превышением содержания свинца в волосах у подростков-юношей в 1,5 раза, по большинству других микроэлементов отмечались существенно меньшие показатели накопления элементов, в сравнении с крупными населёнными пунктами.

Аналогичная ситуация зафиксирована и для г. Борзя, где выявлено высокая массовая концентрация стронция, особенно у подростков мужского пола, превышавшая среднерегиональный показатель более чем в 3 раза (рисунок 1).

Суммирование показателей содержания микроэлементов выявило аналогичные закономерности – в Чите и Хилке у девушек они были в 2-3 раза большими, чем у юношей, тогда как в Нерчинске, Борзе и Кличке имелась обратная зависимость.

Таким образом, изучение микроэлементного состава волос детей и подростков Забайкальского края не выявил существенного загрязнения в условиях геохимических аномалий (п. Кличка). Наибольшие величины аккумуляции элементов в волосах отмечались у девушек г. Читы и в меньшей мере г. Хилок, что может быть объяснено аэрогенным путём их поступления из смога в осенне-зимний период. У подростков-юношей в этих же условиях степень накопления была меньшей, хотя также фиксировались превышения среднерегиональных показателей. То есть важным является не только среднее содержание загрязнителей в объектах окружающей среды, в питьевой воде и пище, но и длина волос, что увеличивает длительность экспозиции загрязнителей.

Библиографический список

1. Байкенова Г.Е., Барановская Н.В., Какабаев А.А., Берсимбаев Р.И., Корогод Н.П., Наркович Д.В., Куровская В.В. Индикаторные показатели состояния экосистем в элементном составе волос жителей районов северного Казахстана // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 7. – С. 48-158.
2. Лисецкая Л.Г., Ефимова Н.В. Региональные показатели содержания микроэлементов в волосах детского населения Иркутской области. Гигиена и санитария. 2016; 95 (3): 266-269. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-266-269>
3. Wanga X., Ninga Y., Zhanga P., C. Li, Zhoua R., Guo X. Hair multi-bioelement profile of Kashin-Beck disease in the endemic regions of China // Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. V. 54, 2019. – P. 79-97. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.04.002>

Концентрация химических элементов в побегах багульника болотного (*Ledum palustre* L.) в районе Быстринского ГОКа (Забайкальский край)

Макаров В.П., Зима Ю.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия,
e-mail: vm2853@mail.ru; zima.yura@mail.ru

Аннотация. В районе Быстринского ГОКа в Забайкальском крае исследовано содержание 46 химических элементов в побегах багульника болотного (*Ledum palustre* L.). Концентрация химических элементов в порядке убывания располагались в следующем порядке: K > Ca > P > Mg > Mn > Fe > Ba > Na > Zn > B > Sr > Ti > Cu > Rb > Cr > Ni > V > Ce > As > Zr > Mo > La > Co > Li > W > Pb > Ga > Sn > Y > Cs > Th > Sc > Pr > Sb > Tl > Nb > Se > U > Be > Ta > Ag > Hg > Cd > Ge > Bi > Te. По отношению кларку наземных растений концентрация элементов в побегах растения располагалась в следующей последовательности: Sc > Ga > Nb > Cr > Ti > Ba > U > Fe > Cs > Ag > La > W > Ce > Mn > Li > As > Кларк > Hg > Sr > K > P > Sb > Cu > Mg > B > Ni > Zr > Co > V > Sn > Zn > Mo > Rb > Be > Ca > Se > Na > Pb > Cd > Bi. Относительно сильным поглощением характеризовался селен (КБП = 14,5), коэффициент биологического поглощения фосфора и висмута превышал 1,0. Лекарственное сырье и кормовые добавки для сельскохозяйственных животных из побегов багульника болотного соответствовали установленным нормам кроме участков вблизи производственных объектов.

Ключевые слова: Багульник болотный (*Ledum palustre* L.), концентрация химических элементов, Быстринский ГОК.

Concentration of chemical elements in shoots of *Ledum palustre* L. in the area of Bystrinsky mining and processing plant (Trans-Baikal Territory)

Makarov V.P., Zima Ju.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, e-mail: vm2853@mail.ru;
zima.yura@mail.ru

Abstract. In the area of Bystrinsky GOK in the Trans-Baikal Territory, the content of 46 chemical elements in the shoots of *Ledum palustre* L. was studied. The concentrations of chemical elements in descending order were arranged in the following order: K > Ca > P > Mg > Mn > Fe > Ba > Na > Zn > B > Sr > Ti > Cu > Rb > Cr > Ni > V > Ce > As > Zr > Mo > La > Co > Li > W > Pb > Ga > Sn > Y > Cs > Th > Sc > Pr > Sb > Tl > Nb > Se > U > Be > Ta > Ag > Hg > Cd > Ge > Bi > Te. With respect to the clark of terrestrial plants, the concentration of elements in the shoots of the plant was located in the following sequence: Sc > Ga > Nb > Cr > Ti > Ba > U > Fe > Cs > Ag > La > W > Ce > Mn > Li > As > Clark > Hg > Sr > K > P > Sb > Cu > Mg > B > Ni > Zr > Co > V > Sn > Zn > Mo > Rb > Be > Ca > Se > Na > Pb > Cd > Bi. Selenium was characterized by relatively strong absorption (Biological absorption coefficient = 14.5), the coefficient of biological absorption of phosphorus and bismuth exceeded 1.0. Medicinal raw materials and feed additives for farm animals from the shoots of the marsh beetle corresponded to the established standards, except for areas near production facilities.

Keywords: *Ledum palustre* L., concentration of chemical elements, Bystrinsky mining and processing plant.

Введение

Багульник болотный (*Ledum palustre* L.) является фармакопейным растением, используется в народной медицине. С восемнадцатого века он использовался в этномедицине для лечения различных недугов, таких как ревматизм, кашель, простуда и укусы насекомых, а также как репеллент [1]. Для северного и благородного оленя зимой листья багульника болотного являются добавочным кормом, которые добываются при тебеневке [3].

Багульник болотный – вечнозеленый кустарник из семейства *Ericaceae*, приурочен к заболоченным хвойным лесам, реже березнякам. Относится к типичным олиготрофам, то есть растениям, приспособленным к жизни на очень бедных и кислых почвах. В Забайкальском крае обычно встречается на сильно увлажненных, слабоаэрируемых почвах, в условиях средней освещенности, а также может встречаться и на открытых участках. Популяция багульника, произрастающая в Забайкальском крае, характеризуется высоким содержанием эфирного масла (1,5-3,2 %), но ледола (основное действующее вещество) в его составе очень мало (0,5-1 %) [5]. Ледол может воздействовать на центральную нервную систему, вначале приводя к психомоторному возбуждению, затем к судорогам и судорогам, наконец, к параличу, проблемам с дыханием и даже смерти. Кроме того, сообщалось о

повышении артериального давления – по этой причине для питания рекомендовалось растительное сырье, содержащее минимальное количество левола [1].

В условиях Уренгойских тундр наиболее активно происходит накопление в багульнике марганца — элемента, обладающего очень высокой биогеохимической активностью в тундровых и таежных ландшафтах. Выделяются две группы химических элементов по их способности к накоплению в растительном материале багульника болотного. Халькофильные элементы (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Hg) энергично поглощаются багульником, в то время как сидерофильные (Fe, Co, Cr), напротив, содержатся в концентрациях ниже средних значений. Зависимость накопления элемента от принадлежности его к той или иной классификационной группе связана с подвижностью в условиях ландшафтов кислого и кислого глеевого классов водной миграции. Халькофильные элементы, как правило, в этих условиях проявляют катионогенные свойства, причем именно катионогенные элементы наиболее подвижны в условиях кислых почв [4].

Объекты и методика исследований

Исследования проведены на территории Быстринского ГОКа. Это крупное Cu–Au–Fe скарново-порфировое месторождение. Месторождение находится на территории Газимуро-Заводского района Забайкальского края, в 25 км северо-западнее от районного центра, поселка Газимурский Завод (51.482° с.ш., 118. 538° в.д.). На территории месторождения были выделены горные дерновые лесные; дерновые лесные насыщенные; темно-серые лесные; лугово-черноземные; луговые; лугово-болотные типы почв. Среднее содержание гумуса находилось в пределах 4,17-15,3%, рН водный 5,9-6,9, среднее содержание фосфора – от 1,9 до 14,0, калия – 11,0-29,0 мг/100 г. По механическому составу все типы почв тяжелосуглинистые. Для почв характерны повышенные относительно кларка содержания Sc. В горных дерновых лесных почвах наблюдалось повышенные содержания Cu, Cr, W, As. В темно-серых лесных почвах зафиксировано небольшое превышение Cu (и во всех пробах высокое содержание As. Основными тяжелыми металлами, выявленными в повышенных концентрациях, являются Cu, Cr, As, W. В подвижных формах тяжелые металлы не имели повышенных значений [2].

Пробные площади располагались в природных сообществах, преимущественно в лиственнично-березовых лесах, а также прирусловых древесно-кустарниковых сообществах и на пойменном луге. Абсолютная высота расположения пробных площадей была в пределах 752-925 м.

В августе 2022 г. был проведен на 4-х пробных площадях отбор проб почвы и растений. Почва отбиралась в прикорневой зоне растений в пределах 20 см. Здесь же в верхней части 4-5 растений отбирали в тканевые мешки смешанный образец побегов багульника болотного. После просушки в лабораторных условиях измельчали до порошкообразного состояния и отправляли для химического анализа

Содержание химических элементов в почве и их концентрацию в растительных образцах определяли в лаборатории физико-химических исследований Института тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина (г. Хабаровск). Аналитики: м.н.с. Крутикова В.О., ст. инж. Петрова А.Ю.

При пробоподготовке для определения концентраций микроэлементов в пробах за основу была использована методика ПНД Ф 16.1:2.3:11-98 «Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой» (1998 год). В качестве стандартных образцов для поверки и калибровки прибора применялись ДВА, ДВБ (Дальний восток РФ), ВНВО-1, STM-1 (США), JG-1a, JR-1 (Япония) и другие. Учитывая, что наиболее корректной оценкой предела обнаружения в аналитических методах является экспериментальное нахождение такого значения, значения Se, Sb, Pb, Be приведены ниже порога по методике ПНД Ф 16.1:2.3:11-98.

Статистическая обработка полученных данных проведена с помощью программы Microsoft Excel 2010, в разделе "Описательная статистика", определены ошибки средних данных, среднеквадратичное отклонение, минимальное и максимальное значения.

Результаты исследований

Исследована концентрация 46 химических элементов в побегах багульника болотного (таблица).

Таблица

Концентрация химических элементов в побегах багульника болотного (мг/кг)

Элемент	$M_{cp.} \pm m$	Отношение к кларку наземных растений, %	Min-max	CV, %
K	8340±1747	60	3394–10805	42
Ca	2385±31	13	2320–2470	3
P	1329±59	58	1204–1489	9
Mg	1317±42	41	1215–1413	6
Mn	1020±96	162	792–1247	19
Fe	436±184	311	192–979	85
Ba	98,7±4,0	705	90,9–109,9	8
Na	66,7±20,0	6	32,9–123,7	60
Zn	25,1±1,5	25	20,7–27,4	12
B	19,0±2,3	38	15,6–25,7	24
Sr	16,8±1,4	65	13,1–19,9	17
Ti	7,8±4,4	780	2,6–20,7	112
Cu	6,9±2,0	49	3,4–12,8	59
Rb	3,6±0,3	18	2,9–4,1	16
Cr	1,8±0,5	783	1,1–3,3	57
Ni	1,1±0,3	37	0,4–1,7	59
V	0,44±0,21	28	0,20–1,05	94
Ce	0,36±0,19	180	0,13–0,91	103
As	0,283±0,211	142	0,001–0,91	149
Zr	0,23±0,12	36	0,08–0,59	106
Mo	0,22±0,07	24	0,10–0,39	64
La	0,18±0,09	212	0,06–0,46	105
Co	0,15±0,06	30	0,07–0,34	88
Li	0,15±0,05	150	0,09–0,28	63
W	0,13±0,06	186	0,04–0,29	86
Pb	0,11±0,04	4	0,03–0,18	77
Ga	0,10±0,02	1667	0,07–0,17	45
Sn	0,08±0,01	27	0,05–0,09	26
Y	0,08±0,04	-	0,03–0,19	93
Cs	0,048±0,013	240	0,02–0,08	53
Th	0,038±0,014	-	0,02–0,08	77
Sc	0,036±0,031	4500	0,001–0,13	174
Pr	0,035±0,018	-	0,01–0,09	106
Sb	0,03±0,01	50	0,01–0,06	72
Tl	0,021±0,009	-	0,003–0,04	83
Nb	0,02±0,01	1000	0,01–0,04	71
Se	0,02±0,01	10	0,01–0,03	68
U	0,016±0,008	421	0,004–0,04	102
Be	0,015±0,005	15	0,01–0,03	67
Ta	0,015±0,005	-	0,01–0,03	67
Ag	0,013±0,003	217	0,01–0,02	40
Hg	0,013±0,030	87	0,01–0,02	40
Cd	0,01±0,00	2	0,01–0,01	0
Ge	0,010±0,004	-	0,004–0,02	75
Bi	0,0013±0,003	2	0,001–0,002	40
Te	0,001±0,000	-	0,001–0,001	0

По отношению кларку наземных растений концентрация элементов в побегах растений располагалась в следующем порядке: Sc > Ga > Nb > Cr > Ti > Ba > U > Fe > Cs > Ag > La > W > Ce > Mn > Li > As > **Кларк** > Hg > Sr > K > P > Sb > Cu > Mg > B > Ni > Zr > Co > V > Sn > Zn > Mo > Rb > Be > Ca > Se > Na > Pb > Cd > Bi. Например, концентрация скандия в побегах багульника была выше кларка наземных растений в 45 раз, галлия – в 17 раз, ниобия – в 10 раз. Меньше 10% по отношению к кларку в растении содержится натрий, свинец, кадмий и висмут.

Варьирование концентрации скандия, мышьяка, титана, сурьмы, циркония, празеодима, лантана, церия и урана в зависимости от местопроизрастания растений была относительно высокой (CV, % > 100), и относительно низкой кальция, магния, бария и фосфора (CV, % < 10).

Коэффициенты биологического поглощения химических элементов располагались в порядке убывания в следующем порядке: Se > P > Bi > Te > Mn > B > K > Ca > Zn > Cu > Mo > Mg > Ba > Cd > Hg > Sr > W > Ag > Ni > Sn > Cr > Rb > Tl > Ta > As > Fe > Co > Sb > Be > Na > U > Ga > La > V > Ge > Y > Cs > Ce > Pr > Pb > Li > Sc > Zr > Th > Ti > Nb. Относительно сильным поглощением характеризовался селен (КБП = 14,5), коэффициент биологического поглощения фосфора и висмута превышал 1,0.

Для As, Pb, Hg и Cd в лекарственном сырье установлено предельно допустимое содержание. Концентрация этих элементов в побегах багульника соответствовала заданным параметрам, кроме содержания мышьяка на одной из пробных площадей, расположенной вблизи производственного объекта предприятия.

Концентрация Fe, Zn, Cu, Cr, Ni, Mo, Co, Pb, Sb, Se, Hg и Cd в побегах багульника болотного была допустимой для кормов сельскохозяйственных животных, кроме содержания мышьяка на одной из пробных площадей, расположенной вблизи производственного объекта предприятия.

Заключение

Исследование позволило установить элементы, характеризующиеся наибольшим и наименьшим накоплением в побегах багульника болотного в условиях района исследования. Наибольшей концентрацией по отношению к кларку наземных растений отличался скандий, галлий и ниобий, а наименьшей – натрий, свинец, кадмий и висмут.

Установлены коэффициенты биологического поглощения элементов растения. Максимальным КБП отличался селен.

Лекарственное сырье и кормовые добавки для сельскохозяйственных животных из побегов багульника болотного соответствовали установленным нормам кроме участков вблизи производственных объектов.

Библиографический список

1. Dampc A., Luczkiewicz M. *Rhododendron tomentosum (Ledum palustre)*. A review of traditional use based on current research // *Fitoterapia*. 2013. Т. 85. – С. 130-143.
2. Котович А. А., Гуман О. М., Макаров А. Б., Антонова И. А. Эколого-геохимическая оценка почв на территории проектируемого Быстринского ГОКа // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2013. № 2(30). – С. 21-25.
3. Леонтьев Д.Ф., Виньковская О.П., Харламов Д.В., Харламова Д.А. Кормовые сосудистые растения в местах тебеневки *Cervus elaphus* L., 1758 на территории базы «Мольты» учебно-опытного хозяйства «Голоустное» (Южное Предбайкалье) // *Вестник ИрГСХА*. 2022. № 112. – С. 98-110.
4. Московченко Д. В., Моисеева И. Н., Хозяинова Н. В. Элементный состав растений Уренгойских тундр // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2012. №. 12. – С. 130-136.
5. Чудновская Г. В. Оценка продуктивности *Ledum palustre* L. в Восточном Забайкалье // *Вестник КрасГАУ*. 2013. № 10. – С. 148-152.

5. Рациональное природопользование

УДК 550.312

Возможность геофизических методов при поисках камнесамоцветного сырья (на примере Шерловогорского месторождения самоцветов)

Груздев Р.В.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия, roguzdev@mail.ru

Аннотация. На примере Шерловогорского месторождения самоцветов описывается возможность применения геофизических методов при поисках камнесамоцветного сырья. В статье приводятся результаты опытно-методических геофизических исследований, выводы и рекомендации для поиска потенциально перспективных зон, связанных с грейзеновыми телами и миароловыми полостями, заполненными глинистым материалом.

Ключевые слова: геофизические методы, грейзены, миароловые полости, аномалиеобразующий объект.

The possibilities of geophysical methods in the search for gemstone raw materials (on the example of the Sherlovogorsky gem deposit)

Gruzdev R.V.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS,
Chita, Russia, roguzdev@mail.ru

Abstract. On the example of the Sherlovogorsky gem deposit, the possibility of using geophysical methods in the search for gemstone raw materials is described. The article presents the results of experimental and methodological geophysical studies, conclusions and recommendations for the search of potentially promising zones associated with greisen bodies and miarol cavities filled with clay material.

Keywords: geophysical methods, miarolitic cavities, anomaly-forming object.

Введение

При поисках камнесамоцветного сырья все чаще возникает вопрос о применении дистанционных методов исследования, позволяющих на начальном этапе работ локализовать поисковый объект без нарушения почвенного покрова. На сегодняшний день, среди известных методов исследования к наиболее эффективным относятся геофизические.

Целью данного исследования является определение оптимального комплекса геофизических методов для поисков камнесамоцветного сырья.

Задачи исследований:

- выбор методики проведения геофизических работ;
- проведение полевых исследований, обработки и интерпретация полученных результатов;
- выявление поисковых признаков и критериев исследуемого объекта;
- определение оптимального комплекса геофизических методов.

Актуальность исследований обусловлена тем, что большинство известных месторождений камнесамоцветного сырья с поверхности практически отработаны, поэтому в настоящий момент объектом пристального внимания считаются скрытые или погребенные залежи.

Степень проработанности исследования указывает на ряд нерешенных вопросов. К таким относится то, что до сих пор не обозначены конкретные поисковые геофизические критерии и признаки обнаружения месторождений самоцветов, не до конца изучен вопрос о возможностях и значимости геофизических методов при поисках камнесамоцветного сырья.

Материалы и методы исследования. В рамках программы опытно-методических работ (ОМР) в пределах Шерловогорского месторождения самоцветов на участке Замелехинский выполнен комплекс геофизических методов. Работы выполнялись на двух профилях наблюдений, разбитых с запада на восток, вкрест простирания известной зоны грейзенизации. Длина каждого геофизического профиля составила 190 м, общая протяженность 380 м.

Комплекс геофизических методов в составе ОМР включал:

– магниторазведочные работы с измерением вертикального градиента производились оверхаузеровским магнитометром-градиентометром POS-2 с шагом по профилю 1 м. База градиентометра составила 2 м, нижний датчик располагался у поверхности земли на высоте 0.2 м. Учет вариаций геомагнитного поля проводился с помощью магнитовариационной станции.

– пешеходная гамма-съемка выполнялась геологоразведочным сцинтилляционным радиометром СРП-88Н с шагом наблюдений по профилю 1 м. На каждом пикете выполнялось два наблюдения. Первое измерение проводилось с целью измерения радиоактивного фона на высоте около 2 м от поверхности земли. При втором измерение радиометр прикладывался к обследуемой поверхности.

– георадарное профилирование производилось комплексом подповерхностного зондирования ОКО-2 в режиме непрерывного сканирования с антенными блоками АБ-250 (частота 250 МГц) и АБ-400 (частота 400 МГц).

– электротомография в модификации ВП проводилась 10-канальным электроразведочным комплексом SYSKAL-Pro Switch-96. Измерения выполнялись электроразведочными косами с расстоянием между электродами 2 м, установкой Pole-Dipole (AMN, MNB, C→∞).

Геофизические исследования сопровождалось топографо-геодезическими работами (разбивка и привязка профилей и пикетов) с помощью высокоточной двухчастотной спутниковой геодезической аппаратуры Javad Triumph.

Краткая геологическая характеристика участка работ

Шерловогорское месторождение расположено на северном и южном склонах горы Шерловой, входящей в состав Адун-Челонского хребта – водораздела рек Онон, Турга, Борзя.

Структурно-тектоническая позиция месторождения приурочена к системе Восточно-Агинского разлома на сочленении двух геолого-структурных зон Восточного Забайкалья – Агинской геоструктурной зоны и Аргунского срединного массива. Месторождение приурочено к главному тектоническому шву этого глубинного разлома, являющегося южной ветвью Монголо-Охотского тектонического пояса.

Шерловогорский массив представлен гранит-лейкократовыми порфирированными разностями кукульбейского комплекса. Камнесамоцветная минерализация находится в специфических миароловых гранитах, основные продуктивные комплексы в которых аналогичны классическим бериллоносным мусковитово-топазово-кварцевым грейzenам. Структура грейzenовых тел характеризуется их приуроченностью к тектоническим нарушениям вдоль контактов поверхностей гранитного массива (наиболее мощные), к пологим трещинам отслоения, к складкам течения, к узлам пересечения трещин различной ориентировки, крутопадающим и сопряженным с ними разрывами.

Выделяются следующие основные типы грейzenов: мусковитово-кварцевый (кварцево-слюдистый); кварцево-топазовый (существенно топазовый); кварцево-топазово-сидерофиллитовый (слюдистый). Среди грейzenов в раздувах жил обнаруживаются пустоты (так называемые занорыши), выполненные бурой глинистой массой, в которых свободно залегают крупные кристаллы берилла.

Связь между типами грейzenов и наличием в них гнезд с цветными камнями и коллекционным сырьем до сих пор твердо не установлена.

Схематическая геологическая карта участка опытно-методических геофизических работ представлена на рисунке 1.

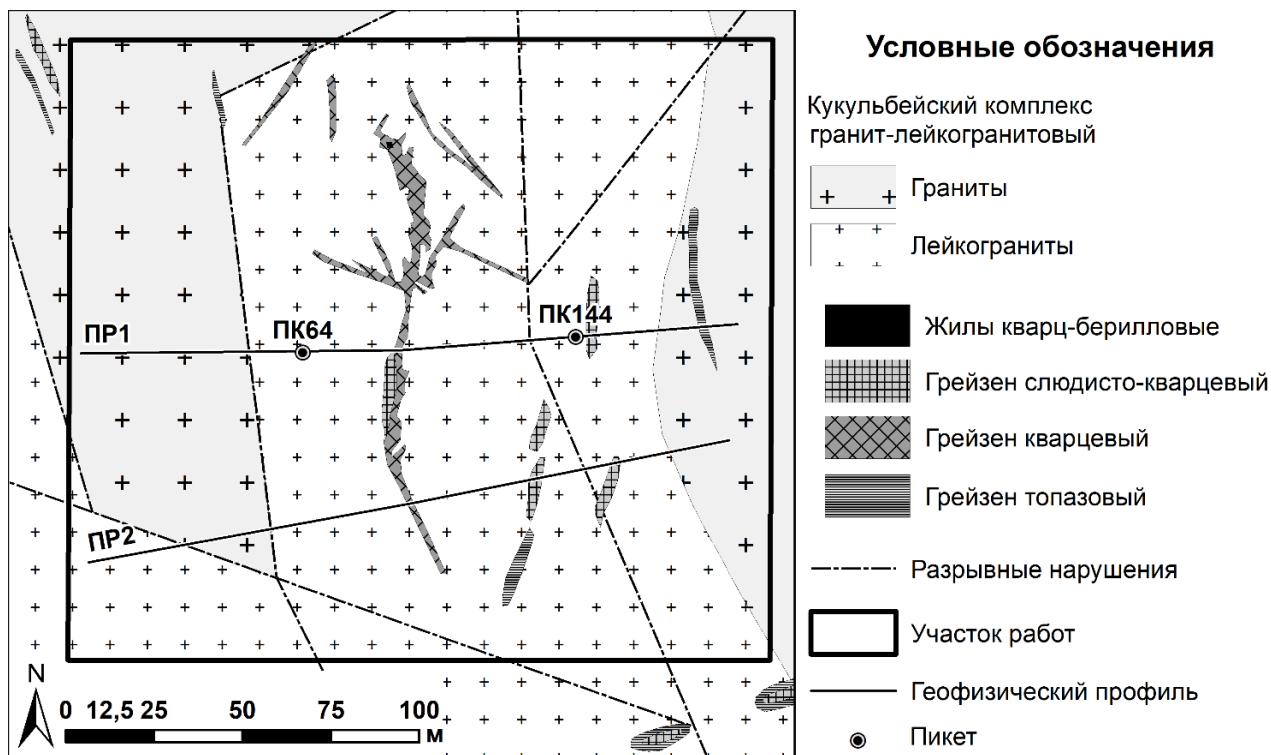


Рисунок 1. Схематическая геологическая карта участка работ.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные результаты опытно-методических геофизических исследований представлены на рисунках 2 и 3. Здесь продемонстрирован фрагмент геофизического профиля №1, пройденный вкрест известной зоны грейзенизации.

В результате проведенных геофизических исследований отмечено, что большая часть зон, связанных с грейзеновыми телами приурочена к тектоническим нарушениям, зонам дробления и интенсивной трещиноватости. Тела грейзенов имеют сложную форму и, как правило, вытянуты вдоль тектонических контактов гранитоидного массива, в связи с этим, большая часть тел имеет субмеридиональное простирание.

В аномальном магнитном поле (рисунок 2) тела грейзенов выделяются неоднозначно. В пределах зоны грейзенизации наблюдается пониженное магнитное поле с интенсивностью до -5 нТл. Структурно-тектонические элементы этой зоны картируются максимальными значениями вертикального градиента аномального магнитного поля. В данном случае магниторазведка не обладает устойчивыми критериями поиска тел грейзенов, метод в большей степени выступает как структурно-картировочный.

По результатам радиометрии (рисунок 2) зона грейзенизации отмечена контрастными аномалиями мощности экспозиционной дозы суммарного гамма-излучения (МЭД). По ретроспективным данным вмещающие лейкограниты кукульбейского комплекса обладают повышенной радиоактивностью на уровне 40-45 мкР/ч. Над грейзенами наблюдается повышенные значения МЭД до 50-55 мкР/ч, предположительно, обусловлено концентрацией высвободившихся радиоактивных элементов из вмещающих лейкогранитов. В пределах занорышей, напротив, наблюдается снижение поля МЭД, вероятно, благодаря замещению матрикса вмещающей среды глинистыми минералами (каолином). Гамма-съёмка, в целом, дает положительные результаты при картировании грейзенов. Концентрация радиоактивных элементов в пределах зоны грейзенизации изменчива, наверняка имеется радиогеохимическая зональность. Поэтому, на наш взгляд, эффективнее использовать взамен гамма-съёмки – метод гамма-спектрометрии с регистрацией полного спектра и каналов (калий, торий и уран).

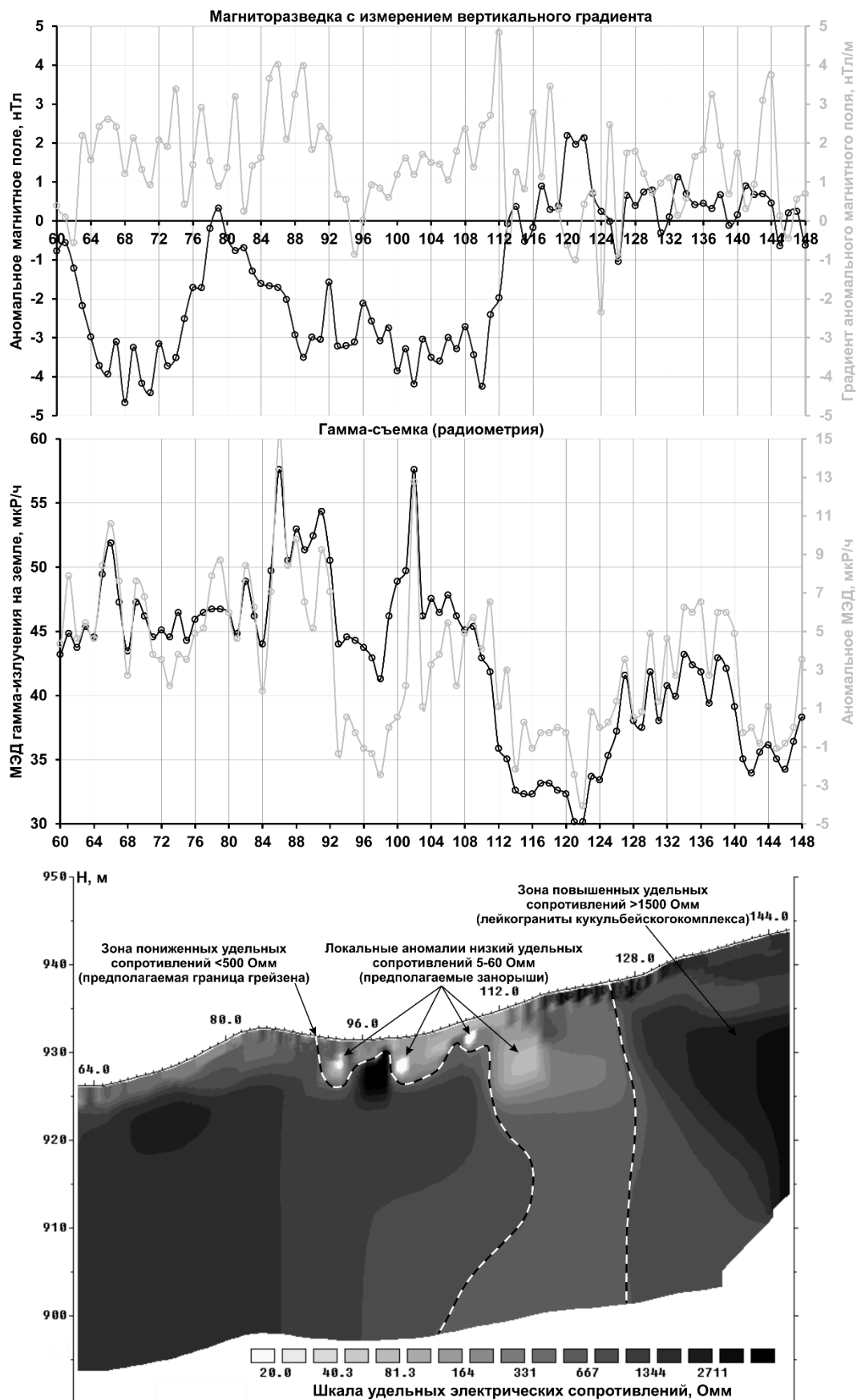


Рисунок 2. Фрагмент геофизического профиля №1 с результатами магниторазведки, радиометрии и электротомографии

Материалы электротомографии наиболее контрастно картируют зону грейзенизации (рисунок 2). На фоне высокоомного гранитоидного массива (2000 и более Ом), тела

грейзенов выделяются пониженными значениями удельных электрических сопротивлений (УЭС) менее 500 Ом·м. В поле ВП грейзеновые тела представлены низкими значениями поляризуемости менее 0.8 %. Внутри зоны грейзенизации выделяются локальные объекты с аномально низкими значениями УЭС около 5-60 Ом·м. По нашему предположению, именно такими аномалиями картируются занорыши. Низкие значений УЭС обусловлены наличием глинистого заполнителя в полостях грейзеновых тел (рисунок 2). Электротомография наиболее эффективно справляется с локализацией миароловых полостей, заполненных глинистым материалом.

При обработке результатов георадарного сканирования (рисунок 3) нам не удалось установить четкой границы зоны грейзенизации и вмещающих пород, однако в пределах оконтуренной зоны по электротомографии и радиометрии выделяются аномалиеобразующие объекты с высокой диэлектрической проницаемостью. Эти объекты хорошо коррелируются с минимумами УЭС около 5-60 Ом·м. Электромагнитная волна в этой зоне обладает высоким поглощением и быстро затухает. Вероятно, эти аномалии представлены миароловыми полостями, заполненными глинистым материалом. На остальных участках профиля из-за сложного «техногенного рельефа» затруднено четкое разделение природы аномальных объектов. Зачастую в виде аномальных объектов на радарограммах встречаются рассежки от старых шурфов, засыпанных горных выработок. В связи с этим применение георадиолокационного метода наиболее целесообразно для изучения локальных объектов в пределах зоны грейзенизации.

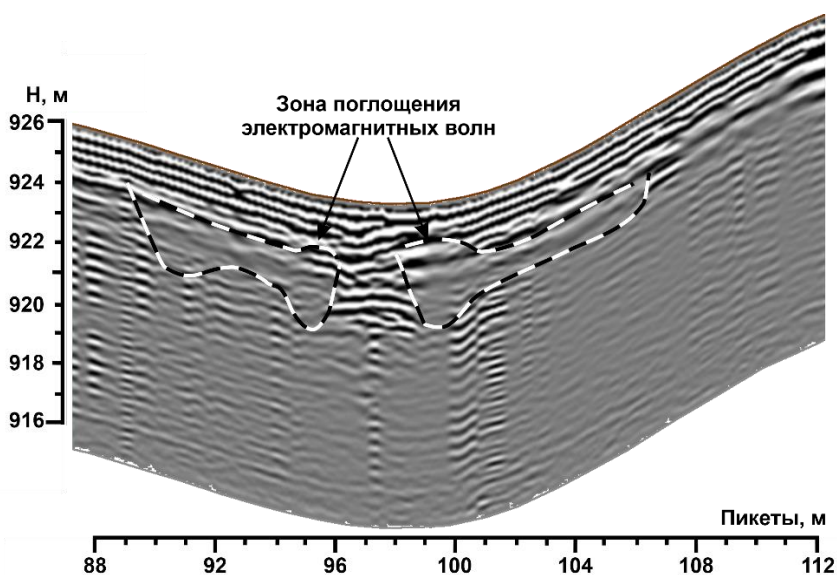


Рисунок 3. Фрагмент геофизического профиля № 1 с результатами георадарного сканирования антенной АВ-250.

Выводы и рекомендации

На основе полученных результатов геофизических исследований и имеющейся геологической информации определены поисковые геофизические признаки и критерии зон минерализации, связанных с грейзеновыми телами. К ним относятся:

- пониженные значения аномального магнитного поля на (5-10 нТл) от фоновых;
- повышенные значения интенсивности аномального радиоактивного поля над фоном на (5-10 мкР/ч и более);
- пониженные значения УЭС (менее 500 Ом·м) и поляризуемости (менее 0.8 %);
- занорыши в грейзенах выделяются аномально низкими значениями УЭС (5-60 Ом·м и менее), понижением поля МЭД (около 5 мкР/ч) и высоким значением диэлектрической проницаемости на радарограммах георадарного профилирования.

Следует отметить, что для картирования зон грейзенизации наиболее эффективно себя зарекомендовал метод электротомографии. Этот факт подтверждается результатами

заверочных горных работ на первом профиле в районе пикетов 100 и 108. Здесь аномалиеобразующий объект представлен грейзеном с миароловыми полостями, заполненными глинистой массой, в которой залежали несколько кристаллов гелиодора.

Последовательность геологоразведочных работ и оптимальный комплекс геофизических методов на поисковом этапе, по нашему мнению, выглядит следующим образом. На первом этапе для геолого-структурного картирования и поисков зон грейзенизации целесообразно провести площадную магниторазведку и гамма-спектрометрию (вместо радиометрии) с шагом по профилю 2-5 м. На втором этапе, на выделенных перспективных участках выполнить профильную электротомографию с шагом 2 м и георадиолокационное профилирование с непрерывной съемкой.

Отходы добычи и переработки олово-полиметаллических руд Шерловогорского месторождения и рекомендации по технологии их использования

Шумилова Л.В.¹, Юргенсон Г.А.²

¹Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, shumilovalv@mail.ru;

²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия
yurgga@mail.ru

Аннотация. Приведены сведения об объемах отходов горного производства в хвостохранилище Шерловогорского ГОКа. Приведены данные содержания и минеральных формах полезных компонентов и показано, что они представляют собою геотехногенное месторождение, содержащее олово, свинец, цинк, кадмий, висмут, вольфрам, индий, скандий. Разработаны основы физико-химической геотехнологии их извлечения, которая может быть использована для создания современных технологий утилизации отходов добычи олово-полиметаллических и золото-полиметаллических месторождений Забайкалья.

Ключевые слова: хвостохранилище, редкие и цветные металлы, геотехногенное месторождение, содержания, запасы, физико-химическая геотехнология, Шерловогорский ГОК, Забайкалье.

Wastes from the extraction and processing of tin-polymetallic ores of the Sherlovogorsk deposit and recommendations on the technology of their use

Shumilova L.V.¹, Yurgenson G.A.²

¹Transbaikal State University, Chita, Russia,

²Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Abstract. Information is given on the volumes of mining waste in the tailings of the Sherlovogorsk GOK. Data on the contents and mineral forms of useful components are given and it is shown that they are a geotechnogenic deposit containing tin, lead, zinc, cadmium, bismuth, tungsten, indium, scandium. The fundamentals of physical and chemical geotechnology for their extraction have been developed, which can be used to create modern technologies for the disposal of waste from the extraction of tin-polymetallic and gold-polymetallic deposits in Transbaikalia.

Keywords: tailings, rare and non-ferrous metals, deposit, grades, reserves, Eastern Transbaikalia, physical and chemical geotechnology.

Введение. Шерловогорское олово-полиметаллическое месторождение находится в Юго-Восточной части Забайкальского края. Положение его дано на рисунке 1. Оно является составной частью Шерловогорского рудного района, заключающего пять месторождений: месторождение самоцветов, бериллия, вольфрама, висмута и олова Шерловая Гора, кварц-силикатно-касситеритовые Аплитовый отрог и Кварц-турмалиновый отрог, олово-полиметаллические Сопка Большая и Восточная аномалия.



Рисунок 1. Локация Шерловогорского рудного района.

Все они в той или иной мере содержат олово. Но промышленные его концентрации известны в трех из них. Самым крупным по запасам олова и сопутствующих химических элементов, таких как свинец, цинк, кадмий, индий и скандий, является Шерловогорское или Сопка Большая, отработанное почти на две трети. Кварц-турмалиновый отрог почти отработан. Как комплексное, сложенное полиметаллическими (свинцово-цинковыми) с попутным оловом не только в касситерите, но и в станнине, разведано месторождение Восточная аномалия. Оно не отрабатывалось.

Шерловогорское полиметаллическое месторождение в Забайкалье отрабатывалось с 1932 по 1993 год.

Расчет запасов произведен, исходя из следующих средних содержаний в руде (мас %): Sn 0,12; Pb 1,71; Zn 0,79; Cu 0,056; As 3,79; S 11,12; Bi 0,0064; In 0,000152 (до 0,06 в касситерите и 0,005 – 0,08 в сфалерите, 0,014 в 14% концентрате); Sc 0,2 г/т. Масса руды на начало разработки месторождения составляла 40 328,947 тыс. т. Не говоря о запасах основных компонентов, отметим, что ГКЗ были утверждены запасы скандия в количестве 15 т, а индия – 61,3 т. Запасы по скандию были сильно занижены, так как среднее его содержание в руде более кларка, равного 0,0022г/т, и составляют по группе проб 2,1 г/т. Специальное изучение содержаний скандия показало его более существенную распространенность в пределах Шерловогорского рудного района [3].

Кроме того, руда, поступавшая на фабрику, содержала (мас.%): As 3,79; S 11,12. В руде содержались также (г/т): Nb 10; Pt 0.021; Pd 0.014; Au 0.023; Ag 5.7; Be 6,1; Cd 63. Все эти элементы уходили в отвал. С учетом массы руды на начало разработки месторождения в 40 328,947 тысяч т в ней содержалось (т): Nb 403,3; Pt 0.8469; Pd 0.5646; Au 0.9276; Ag 2298,75; Be 246; Cd 2540,7. Рентабельным могло быть извлечение платиноидов, золота, серебра и кадмия.

Первое время руды Сопки Большой и Кварц-турмалинового отрога перерабатывались на опытной обогатительной фабрике с производительностью от 75 до 100 т в сутки. В 1962 году была введена в эксплуатацию первая очередь обогатительной фабрики производительностью 500 т в сутки, что привело к резкому увеличению добычи и переработки руд коренного месторождения Сопки Большая и к полному прекращению отработки россыпей. В 1968 году введена в эксплуатацию вторая очередь ГОКа производительностью 2,5 тыс.т в сутки с годовой производительностью 520 тыс.т.

Производительность предприятия после полного ввода в эксплуатацию составила 3000 тонн руды в сутки. Месторождение разрабатывалось открытым способом до 1993 г. Руды обогащались по комбинированной технологии, включавшей гравитационные и флотационные методы. Руды оказались упорными и именно для их переработки впервые в СССР была разработана специальная методика хлорилдовозгонки и фьюминг-процесса. Здесь в 1970-х построена единственная в стране фабрика для внедрения этого способа, который успешно начали внедрять для переработки подобных руд в Боливии. Но грянувшая всеразрушающая перестройка разрушила все планы и в 1993 году деятельность её, как и ГОКа в целом была остановлена. Всего на 1 января 1991 года было добыто 22 516 тыс. тонн руды, из которых переработано 15 409 тыс.т, 7107 тыс.т. в связи с низким содержанием и упорностью складировано для будущих времен. Извлечено в концентраты около 15 тыс. т олова и вместе с ним около 30 т индия. Вместе с касситеритом из россыпей, в котором содержалось в среднем 0,06% индия было извлечено около тысячи тонн индия, а с вольфрамитом из россыпей извлекался и скандий, содержание которого в нем составляло 0,026%.

Шерловогорские месторождения оловянных и оловополиметаллических руд до конца 1970-х наряду с Хапчерангой и россыпями в Кыринском и Красно-Чикойском районах были единственными крупными источниками олова в Советском Союзе и поэтому относительно хорошо изучены. Основной их заслугой является обеспечение оборонной промышленности оловом, вольфрамом и висмутом в предвоенное время, во время Великой отечественной войны и в период послевоенного восстановления народного хозяйства.

Отношение к ним изменилось после открытия на севере Якутии месторождений Полярное, Светлое, Одинокое и других грейзеновой и кварц-касситеритовой формаций с легко обогащаемыми рудами, а также целой серией месторождений сульфидно-касситеритовой формации в Приморье.

Остаток руды в карьере Шерловгорского олово-полиметаллического месторождения составляет 22 712 тыс.т. При среднем содержании олова 0,1% это составляет 22 170 т, а запасы индия при содержании 1,52 г/т – 34,52 т. Суммарные запасы индия в оставшихся упорных рудах, хранящихся в складах, составляют 34,03 т.

Не переработанная горная масса, представляющая собою массивы добытой руды, распределена между тремя отвалами. Северный отвал первоначально состоял из четырех участков, но по мере увеличения количества отходов превратился в огромный единый отвал. Другие массивы упорных руд слагают Южный и Восточный отвалы. За время их накопления и в последующие 30 лет (1993-2023 гг.) вещественный состав их вследствие воздействия природных процессов (окисление, гидратация, увеличение поверхности взаимодействия с агентами выветривания) изменился, и в них сформировались геотехногенные месторождения. Объем геотехногенного сырья по отвалам карьера Сопки Большая представлен в таблице 1. Общие запасы горной массы этого сырья составляют 124 304 тыс.т., в том числе – 76 389 тыс. т. упорных руд.

Таблица 1

Объем техногенного сырья в отвалах карьера Сопки Большая (по: Воросов, 1997 г.)

Показатели	Отвалы упорных руд		Северный отвал, участки		
	Южный	Восточный	1	2	3
Площадь поверхности отвала, тыс. м ²	99	207,1	174,8	65,7	259,8
Количество горной массы, тыс. т	5460	21036	102808		
Запас руды, тыс.т.	5370	12542	58477		
Высота отвала, м			40	от 17 до 39 на южном фланге	46

В результате образовались отходы, представляющие собою хвостохранилище отвальных хвостов обогатительной фабрики, склады упорных труднообогатимых, а поэтому, некондиционных, руд и околорудноизмененных горных вскрыши. Масса техногенного сырья в хвостохранилище по данным Ю.Ф. Харитонов и В.Г. Васильева (1997 г.) и частично опубликованные в работе [1], 17 617,3 тыс. т.

Общий объем этих техногенных массивов в том числе, руд составляет (тыс. т) 904006,3.

Методы исследований. Минералогический анализ руд и лежалых хвостов обогащения, современный комплекс физических, химических и физико-химических методов с использованием современного инструментария: оптической и электронной микроскопии; растровый электронный микроскоп LEO EVO 40HV с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350, спектрохимический и эмиссионный спектральный анализ; рентгенофлуоресцентный анализ; масс-спектрометрический с ионизацией в индуктивно связанной плазме; атомно-абсорбционный методы.

Результаты и их обсуждение. В данной статье рассматривается возможность извлечения главных и сопутствующих химических элементов из хвостохранилища Шеловгорского ГОКа. Содержания и запасы их представлены в таблицах 2 и 3.

Из таблицы 1 однозначно вытекает, что переработка лежалых хвостов обогатительной фабрики Шерловгорского ГОКа позволит при разработке достаточно эффективной технологии получить количество основных компонентов, выражающихся в тысячах тонн.

Особый интерес вызывает факт более высокого, чем в исходной руде, содержания всех примесных элементов, кроме кадмия, который извлекался вместе со сфалеритом.

Таблица 2

Содержания и запасы главных компонентов в хвостохранилище Шерловогорского ГОКа

Показатели	Pb	Zn	Sn	W
Содержания, г/т	0,26	0,410	0,058	0,001
Запасы, тыс. т	45,8	72,2	10,2	1,8

Таблица 3

Содержания и запасы примесных компонентов в хвостохранилище Шерловогорского ГОКа

Показатели	Bi	Cd	Sc	In	Be	Li	Nb	Ta
Содержания, г/т	22,5	10,9	118	3,8	10,7	40	32	3
Запасы, т	396,4	192,1	2079	67,	188,6	704,8	564,1	52,9

Запасы редких элементов, за исключением весьма редкого индия, и нетипичного для этого формационного типа месторождений тантала, составляют сотни тонн. Особенно это касается висмута и скандия.

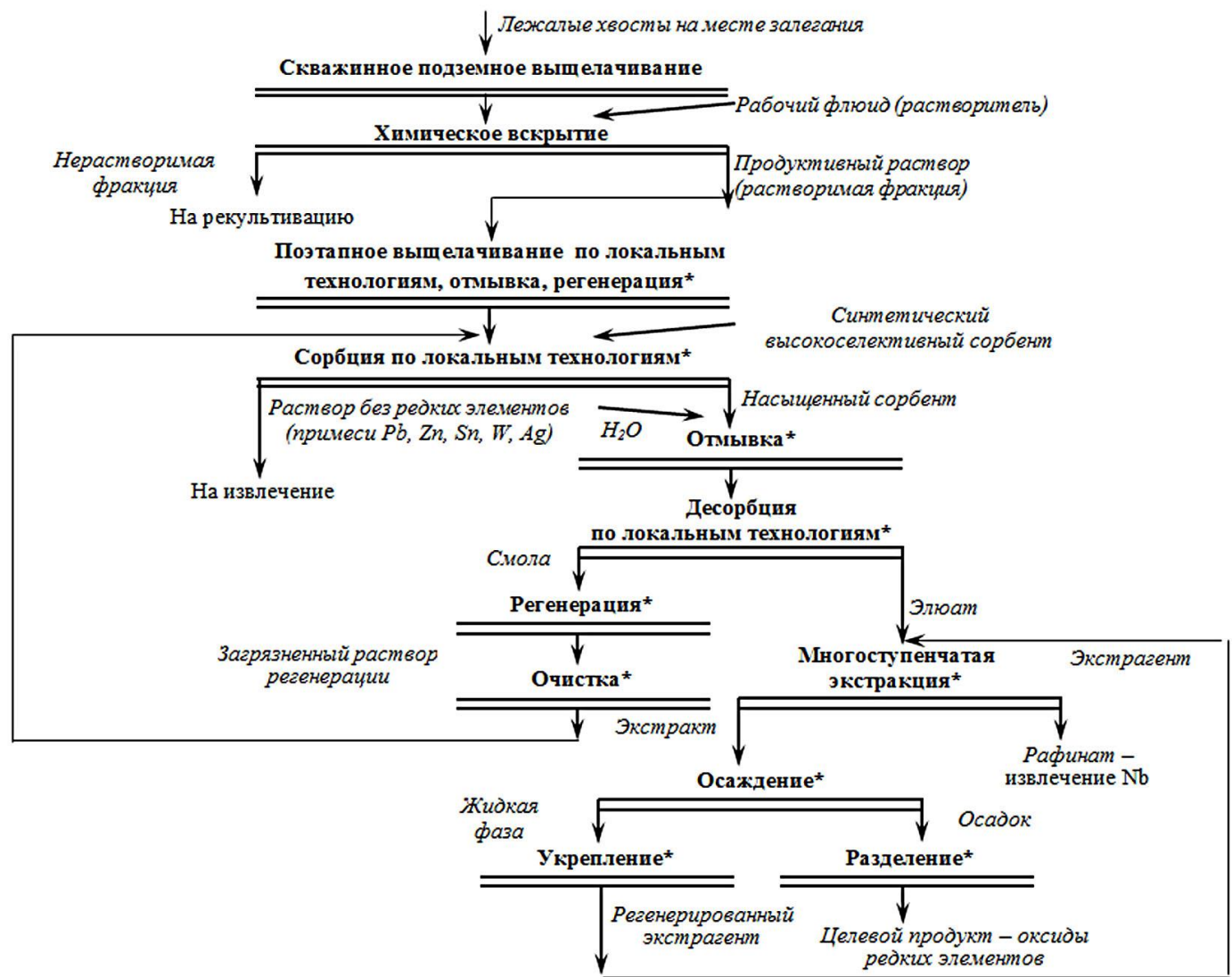
Отходы Шерловой Горы содержат также и серебро, запасы которого при среднем содержании 7,8 г/т составляют 137,4 т. Все рассматриваемые полезные компоненты, находящиеся в отходах обогатительных фабрик, связаны с определенными минеральными ассоциациями, извлечение которых возможно с использованием единой комплексной технологии.

Выявлено, что олово связано, в основном с касситеритом, частью со станнином. В касситерите находится и существенная часть индия, ниобия и скандия [3]

Часть индия и весь кадмий связаны со сфалеритом, висмут в Шерловогорском (Сопка Большая) оловополиметаллическом месторождении связан как с галенитом и галеновисмутитом, так и с висмутином, частью с рузвельтитом. Часть индия находится в касситерите.

Особенностью, как первичных руд, так и лежалых хвостов является высокое содержание мышьяка, также накапливающегося в отвальных хвостах. Анализ всех полученных новых данных о составе отходов обогатительных фабрик Шерловогорского ГОКа свидетельствует о том, что мы имеем дело с новым геотехногенным месторождением, формирующимся на протяжении многолетнего функционирования и этого ГОКа и после его ликвидации.

Геотехногенный ландшафт Шерловогорского рудного района относится к наиболее опасному кадмий-олово-сурьмяно-висмут-мышьяково-свинцово-цинковому геохимическому типу. Исходя из этого, 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 вследствие нахождения в тонких сростках или в виде изоморфных примесей в руде. Разнообразие редких элементов в исследуемом техногенном сырье (Bi, Cd, Sc, In, Be, Li, Nb, Ta,), а также наличие цветных металлов (Pb, Zn, Sn, W), 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 [2] определило необходимость разработки комбинированной схемы, представленной на рисунке 2.



Примечание*: Bi, Cd, Sc, In, Be, Li, Nb

Рисунок 2. Комбинированная технология извлечения редких и цветных металлов из техногенных отходов хвостохранилищ обогатительных фабрик, перерабатывающих руды олово-полиметаллических месторождений Восточного Забайкалья.

Выводы.

1. Полученные расчеты показали, что запасы примесных полезных компонентов в хвостохранилище, масса сырья которого 17 617,3 тыс. т, составляют: для скандия 2078,8т, для висмута 369,38 т, для кадмия 192 т, для бериллия 192 т, для лития 704 т, а также 174,3 т серебра. Хвостохранилище содержит также (тыс. т.): 45,8 свинца, 72,2 цинка, 10 олова и 1,8 вольфрама.

2. Разработана комбинированная технология извлечения редких элементов из техногенных отходов, обладающая элементами новизны и включающая скважинное подземное выщелачивание, сорбцию и экстракцию по локальным технологиям, которая позволит получать высокочистые индивидуальные соединения редких элементов.

3. Наряду с получением значительного количества полезных компонентов разработанная комбинированная технология позволит существенно снизить экологическую опасность отходов деятельности Шерловогорского ГОКа.

Библиографический список

1. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья / Юргенсон Г.А., Четкин В.С., Асоков В.М. и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 576 с.
2. Шумилова Л.В. Гравитационно-электрохимический способ извлечения золота из техногенных россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. № 5 (специальный выпуск 19). – С. 186-192.
3. Г.А. Юргенсон, О.В. Кононов, А.С. Афанасьева 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>

6. Вклад Российской академии наук в познание природы Сибири и Забайкалья

УДК 930.253 (571.56)

Геологические отчеты и архивные материалы в Музее БНЦ СО РАН

Мурзинцева А.Е.

Бурятский научный центр СО РАН, Улан-Удэ, Россия, e-mail: masash@inbox.ru

Аннотация. В архивном фонде Музея БНЦ СО РАН хранятся личные фонды геологов Ю.П. Бутова, П.В. Осокина, Д.И. Царева, А.С. Яценко, Н.П. Михно. Среди их материалов наибольшую ценность составляют неопубликованные геологические отчеты, рукописи диссертаций, а также редкие выпуски газеты «Геолог Бурятии».

Ключевые слова: музейное собрание, геологический отчет, «Геолог Бурятии», неопубликованные исследования.

Geological reports and archival materials in the Museum of the BSC SB RAS

Murzintseva A.E.

Buryat Scientific Center SB RAS, Ulan-Ude, Russia, e-mail: masash@inbox.ru

Abstract. The archive fund of the Museum of the BSC SB RAS contains the personal funds of geologists N.P. Mikhno, Yu.P. Butov, P.V. Osokin, D.I. Tsarev, A.S. Yatsenko. The most valuable of these materials are unpublished geological reports, dissertation manuscripts, as well as rare issues of the newspaper "Geologist of Buryatia".

Keywords: museum collection, geological report, "Geologist of Buryatia", unpublished research.

В 2023 г. Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук отмечает свой полувековой юбилей. Круглая дата служит поводом для обращения к истории исследований, берегаемой в архивных материалах и музейных коллекциях. В Музее Бурятского научного центра СО РАН хранятся материалы сотрудников ГИН СО РАН, главным образом – натурные образцы и коллекции. Архивный фонд в Музее БНЦ формируется не целенаправленно, но в связи с этими коллекциями. На сегодня он включает пять личных фондов геологов: Юрия Павловича Бутова, Петра Васильевича Осокина, Дмитрия Ивановича Царева, Александра Сергеевича Яценко, а также Николая Петровича Михно. Все они работали в Бурятском геологуправлении, а позднее – в Геологическом институте (кроме Н.П. Михно, который умер до образования института).

О ценности архивных материалов позволяет судить, например, присутствие среди них семи выпусков газеты «Геолог Бурятии» (орган Бурятского геологического управления, группового комитета профсоюза рабочих геологоразведочных работ и областного правления НТО «Горное») №№ 31, 56, 62, 67, 69, 80, 113 за 1967-1969 гг. Эта малотиражная газета выходила на протяжении ряда лет, насчитывала сотни выпусков, однако до нашего времени почти не дошла. В Книжной палате Республики Бурятия, собирающей и регистрирующей обязательные экземпляры местной печати, ее нет. По-видимому, шесть экземпляров газеты, поступивших из семейного архива династии геологов Дорошкевичей и один из архива Н.П. Михно – единственные сохранившиеся.

К сожалению, с течением времени научные материалы частично теряют свою научную актуальность. Так, о региональных исследованиях до 1960-х гг. принято говорить как о имеющих сегодня лишь историческую и мемориальную ценность. Такое мнение вполне обосновано, например, для полевых дневников Н.П. Михно 1942-1944 гг. Написанные поверх школьных и бухгалтерских черновиков, с погасшими чернилами и трудноразличимыми карандашными надписями, они больше говорят о науке военного времени своим обликом, чем содержанием. Не все рукописи в архиве обладают полнотой и сохранностью, но есть несколько групп документов, представляющих интерес для исследователей. В частности, геологические отчеты.

Отчеты о геологическом изучении недр – научно-производственные документы Министерства геологии СССР и других исследовательских (научных и производственных) организаций. Эти исследования, в значительной мере, не были опубликованы и доступны сегодня лишь в хранилищах Российского федерального геологического фонда и территориальных фондах геологической информации. В результате реорганизаций и сокращения этих фондов в постсоветский период часть материалов были исключена из хранения. В Музее БНИЦ СО РАН хранится 12 отчетов геологических партий Мингео и 4 отчета тематических групп Геологического института БФ СО АН СССР. Это – авторские экземпляры исследователей, которыми они и их коллеги пользовались в дальнейшей работе. Каждый из архивообразователей до Геологического института был сотрудником Бурятского геологического управления.

Перечень отчетов (в хронологическом порядке):

Волколаков Ф.К., Бутов Ю.П., Ивойлов Ю.А., Приходько В.П., Хлыстов П.А. Бокситоносность кембрийских карбонатных толщ на территории Бурятской АССР. Т. 3. Улан-Удэ, 1964.

Бутов Ю.П., Рейф Л.И., Сиченко Н.Т. Литолого-палеографические карты Бурятской АССР Поздний протерозой БурАССР. Масштаб 1:1 500 000. Архей–н.палеозой Витимского плоскогорья. Отчет о работах по теме № 106 за 1966 г. Улан-Удэ, 1966.

Осокин П.В., Бутов Ю.П. Результаты поисково-ревизионных работ на фосфориты в Прибайкальском районе БурАССР (ю.-в. склон хр. Морского). Отчет о работах Фосфоритовой партии за 1968 г. Т. 1. Улан-Удэ, 1969.

Хлыстов П.А., Бутов Ю.П., Приходько В.П., Зайнулин А.А. Карта бокситоносности территории БурАССР. Масштаб 1: 1 000 000. Поисково-ревизионные работы по оценке перспектив бокситоносности бассейнов Витимкана и Чины, с поисками бокситов в бассейне р. Давыкши. В 2 томах. Улан-Удэ, 1971.

Царев Д.И., Скворцов А.Н., Бусыгин В.В. Отчет о поисковых работах, проведенных Чингизской ГРП в 1968-69 гг. (площадные поиски на участке Малкельды, глубинные поиски на участке Карашоки, частная задача на участке Центрально-Жауыртагинский). Акбастау, 1971.

Кренделев Ф.П., Бобров В.А. Отчет о работе радиометрической группы Института геологии и геофизики Сибирского отделения в 8-ом рейсе НИС «Дм.Менделеев» в Юго-Восточной части Тихого океана. НИС «Дм.Менделеев», 8-ой рейс, 1972.

Бутов Ю.П., Приходько В.П., Хлыстов П.А., Левицкий В.Б., Гурулев С.А. Бокситоносность бассейнов рр. Уакита и Намамы. Предварительная ревизия материалов по высокому месторождению бокситов. Т. 2. Улан-Удэ, 1973.

Язмир М.М. Схематическая карта распространения палеозойских отложений на территории БурАССР к отчету темы 206 за 1971-73 гг.

Бутов Ю.П., Приходько В.П. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые Забит-Сархойского междуречья. Геологическое доизучение площади развития карбонатных пород Боксонской надсвиты нижнего палеозоя. Улан-Удэ, 1974.

Андреев Г.В. Палеозойские магматические формации Бурятии. Заключительный отчет по теме «Происхождение главных типов магматических формаций и природа связей магматизма и рудообразования». Раздел: Палеозойские формации Бурятии. В 2 томах. Улан-Удэ, 1975.

Плотников В.П. К грамматике полных топонимов. Литературно-грамматический комментарий применительно к топонимике Бурятской АССР. Извлечения из нормативных первоисточников. Улан-Удэ, 1975.

Бутов Ю.П., Воронцова Г.А. Новые данные по стратиграфии и полезным ископаемым Юго-Восточной Саяны информационная записка о работах Саянского отряда за 1974-1976 гг. В 2 томах. Улан-Удэ, 1977.

Чубаров С.У. Отчет о геологоразведочных работах, проведение Любавинской ГРП в 1977. В 2 томах. Заб. КГРЭ. Фонды Любавинской ГРП. Чита, 1978.

Бутов Ю.П., Ивченко И.П. Новые данные по стратиграфии палеозоя южного крыла Окинского синклинория (Вост. Саян). Отчет Саянского отряда за 1982-1983 г. В 3 томах. Улан-Удэ, 1984.

Рипп Г.С., Очиров Ю.Ч. Отчет о научно-исследовательской работе «Закономерности размещения колчеданно-полиметаллического и другого оруденения Озернинского рудного узла». Часть III. «Поисковые геохимические признаки колчеданно-полиметаллического оруденения» (Геохимические особенности эндогенного оруденения Озернинского рудного узла). Улан-Удэ, 1985.

Царев Д.И., Фирсов А.П. Отчет. Геологические закономерности размещения, поисковые критерии и прогноз колчеданно-полиметаллического и другого оруденения в Озернинском рудном узле. В 2 частях. Улан-Удэ, 1985.

Далматов Б.А. Биостратиграфическая обработка комплексов ископаемых организмов с целью уточнения местных и региональных шкал палеозоя Бурятии (Отчет по теме 422 за 1989-1993 гг.) В 2 томах. Улан-Удэ, 1993.

Помимо Музея БНЦ экземпляры отчетов хранятся в ФГБУ «Российский федеральный геологический фонд» (г. Москва) – 8 единиц. В Бурятском филиале ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Дальневосточному федеральному округу» – 5 единиц. В Забайкальском филиале ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Дальневосточному федеральному округу» – 1 отчет (Любавинской ГРП). Отчет Чингизской ГРП за 1968-1971 гг., как и отчет по теме «Бокситоносность кембрийских карбонатных толщ на территории БурАССР» в каталогах «Единого фонда геологической информации о недрах» не значатся. Отчеты Геологического института по проектам, выполнявшимся, в том числе, по заказу региональных геологуправлений, в «Едином фонде» встречаются как в форме карточек изученности к геологическим материалам (2 единицы), так и в полнотекстовой форме (1 отчет). Отчет Ф.П. Кренделева об его участии в плавании на научно-исследовательском судне «Дмитрий Менделеев» в 1972 г. и посещении острова Пасха в геологических фондах отсутствует.

Рукописи диссертаций – еще один тип научных неопубликованных документов. В архивах исследователей также представлены материалы их докторских и кандидатских диссертационных исследований (диссертации Ю.П. Бутова, П.В. Осокина). Особое внимание обращают на себя незащищенная диссертация Раисы Ильиничны Яценко «Структурная позиция и литохимические поисковые признаки золотого и редкометалльного оруденения в Карафтит-Багдаринском блоке (Витимское плоскогорье)» (Улан-Удэ, 1990), а также диссертация (в форме научного доклада) Николая Петровича Михно «Стратификация и магматизм мезозоя Селенгинской Даурии (центральная часть Западного Забайкалья)». В связи со скоростной смертью Н.П. Михно в 1967 г., его диссертация не была завершена. Помимо нашего архива, эти работы не сохранились более нигде.

Среди всех архивных материалов выделяется переплетенная рукопись (машинопись, с таблицами и иллюстрациями), озаглавленная «С.Д. Шер. Золоторудные месторождения Канадского щита. Москва, 1960». На титульном листе нет указаний на статус документа или его происхождение из какой-либо исследовательской организации. Проведенная атрибуция позволила отнести рукопись авторству известного специалиста в области геологии золоторудных месторождений Сергея Дмитриевича Шера, сотрудника НИГРИЗолото (ныне Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва).

В 1954-1962 гг. С.Д. Шер исследовал Ленский золотоносный район, одновременно с А.С. Яценко, который в 1960-1964 гг. работал в геологоразведочных и поисково-съёмочных партиях Бодайбинской экспедиции Иркутского геологического управления. В связи с чем, по-видимому, рукопись оказалась у Александра Сергеевича.

В своих воспоминаниях Сергей Дмитриевич писал: «Главное, что ленский материал побудил меня к обобщению золотоносности всего Земного шара. Вначале родилась статья о соотношениях масштабов россыпных и коренных золотых районов – оказалось, что они

далеко не всегда соответствуют друг другу. Потом оказалось интересным узнать, что же делается в золотоносных областях древних провинций мира (вначале Канадского щита). Поразило слабое освещение этого материала в русской и иностранной литературе. Так постепенно мысли о перспективах Ленского района явились толчком для обобщений по золотоносности всего Земного шара» [3, с. 186]. Рукопись представляет собой законченное исследование со стандартным оформлением. В информационной системе «Единый фонд геологической информации о недрах», геологический отчет С.Д. Шера с таким названием зарегистрирован в 1970 г. в Курском филиале ФБУ «ГФГИ по центральному федеральному округу». Кроме того, название и структура рукописи совпадают с названием и оглавлением первого тома отчета С.Д. Шера 1966 года по теме В.18.8.2 «Золоторудные месторождения различных генетических типов зарубежных стран» (хранится в ЦНИГРИ).

Можно предположить, что «Золоторудные месторождения Канадского щита» – вариант научного «самиздата», тиражировавшегося и распространявшегося автором самостоятельно, помимо издательств и типографий. Вполне вероятно, что публикация в открытой печати в 1960 г. не состоялась из-за засекреченности всей информации о месторождениях золота.

В методике геологических исследований, сложившейся в XX в., обращение к геологическим отчетам, как к источникам информации по истории изучения объекта, было обязательным этапом работы. При отсутствии копировальной техники отчеты переписывали, конспектировали от руки. На доступ к материалам геологических фондов действовали ограничения. Так, Николай Петрович Михно, как сын «врага народа» не имел права на чтение отчетов по запасам золота. Для него конспекты отчетов выполняла жена, Нина Георгиевна. Это правило распространялось, в том числе, на отчеты, составленные самим Николаем Петровичем. Конспекты отчетов и статей также присутствуют в музейном архиве.

В наши дни, когда система публикации исследований стала значительно более обширной, особенно с учетом цифровых технологий, обращение к рукописным отчетам становится более редкой практикой. Тем не менее, исследователи обращаются к архивам. Геологи запрашивают, в первую очередь, авторские карты и схемы. Сотрудники Музея – документы, сопряженные с музейными образцами и коллекциями, а также фотографии для выставок. Рассматриваемые личные архивы были задействованы, как минимум, в 6 выставках за последние 10 лет. На их основе публиковались исследования по истории науки и музейного дела в Бурятии [1, 2]. Архив Д.И. Царева стал темой магистерской выпускной квалификационной работы студента-историка Бурятского государственного университета, в котором Дмитрий Иванович много лет возглавлял кафедру геологии. Архивные материалы используются в практических занятиях для студентов-музеологов.

Таким образом, актуальность архивных геологических материалов не исчезает со временем. К ним обращаются новые исследователи, находят для них новые формы реализации. Значительная часть исследований, по которым составлялись геологические отчеты, осталась неопубликованной. При этом «точки доступа» к отчетам ограничены. Часть региональной информации можно получить только в центральном хранилище Росгеолфонда. Часть – стала малодоступной. В этой ситуации сохранение отчетов в региональном научном музее – дополнительная возможность обеспечения доступа для ученых.

Благодарим сотрудников ЦНИГРИ, Евгению Викторовну Сидорову за помощь в атрибуции материалов.

Библиографический список

1. Мурзинцева А.Е. Монгольские исследовательские коллекции П.В. Осокина в Музее Бурятского научного центра СО РАН // История. Язык. Культура. – Улан-Батор, 2009. – С. 266-270.
2. Мурзинцева А.Е. Материалы о деятельности Михно П.С. в собрании Музея Бурятского научного центра СО РАН. // Современные тенденции в развитии музеев и музееведения. – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2020. – С. 211-218.
3. Шер С.Д. Моя геологическая жизнь. – М.: ЦНИГРИ, 2020. – 312 с.

Геолого-минералогические исследования учёных советской (Российской) академии наук в Кодаро-Удоканской структурно-фациальной зоне

Трубачев А.И.

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия, E-mail: trubachev 1704 @ gmail.com

Аннотация. Вкратце охарактеризованы основные достижения научных сотрудников советской (российской) академии наук, выполненных с 1917 г. по настоящее время при геолого-минералогических исследованиях основных рудных месторождений Кодаро-Удоканской структурно-фациальной зоны.

Ключевые слова: Кодаро-Удоканская зона, рудные месторождения, геология, минералогия.

Geological and mineralogical studies of scientists of the Soviet (Russian) Academy of Sciences in the Kodaro-Udokan structural-facies zone

Trubachev A.I.

Transbaikal State University, Chita, Russia, E-mail: trubachev 1704 @ gmail.com

Annotation. The main achievements of the scientists of the Soviet (Russian) Academy of Sciences, carried out from 1917 to the present in the course of geological and mineralogical studies of the main ore deposits of the Kodaro-Udokan structural-facies zone, are briefly characterized.

Keywords: Kodaro-Udokan zone, ore deposits, geology, mineralogy.

Кодаро-Удоканскую структурно-фациальную зону выделил Л.И. Салоп (1964 г.) в пределах установленной Е.В. Павловским (1948 г.) Байкальской горной области. Позднее её стали называть Кодаро-Удоканским рудной зоной, а Б.И. Гонгальский (2012) – Удокано-Чинейским рудным районом, в пределах которого сформировались гигантские месторождения осадочного (Удоканское), гидротермального (Катугинское), магматического (Чинейское) происхождения и множество других по составу и масштабу месторождений и проявлений. Естественно, что к этому важнейшему региону всегда было приковано пристальное внимание ученых и геологов-практиков из различных производственных и научных организаций, начиная с 1917 г. по настоящее время. Ниже приводятся сведения о геолого-минералогических исследованиях учеными академических организаций.

История геологического исследования района начинается с 1917 г., когда сотрудник Геолкома В.Д. Никитин проводил маршруты в бассейне рек Чары, Кемена, Икабы с целью обнаружения золотоносности. С этой же целью в 1925-26 г. в районе работали И.Н. Осипов и П.А. Харитонов, которые выявили ряд перспективных мест. Наиболее значительные результаты по геологическому строению района в 1928-1932 г. получил Е.В. Павловский с сотрудниками, которыми среди метаморфических пород эозоя впервые была выделена удоканская свита. В 1948 г. Е.В. Павловский (1900-1989) составил сводку по геологии Байкальской горной области и его можно считать основоположником по изучению геологии Северного Забайкалья.

И.А. Ефремов, А.А. Арсеньев в том же районе в 1934-1935 г. проводили геологические исследования. Не обнаружив признаков нефтеносности в районе (что было их целью), привели сведения о геологическом строении района и составили схематическую геологическую карту. Суждения авторов о рельефе и четвертичных отложениях согласуются в целом с нынешними представлениями, полученными с применением современных геофизических методов. Они детально охарактеризовали урочище Пески, объявленное ныне памятником природы. Авторы отнесли его к эоловым (ветровым) песчано-пустынным отложениям, которые образуют барханы высотой 10-20 метров, передвигающиеся к пос. Чара. За 18 лет со времени наблюдения Д.В. Никитина до 1935 г. пески продвинулись на 2 км. Практический вывод из этого прост – пески необходимо закреплять посадками деревьев, лучше всего сосной. Геология севера Читинской области изложена авторами на уровне тех теоретических взглядов, которые тогда господствовали, и конечно же, эти выводы в наши дни представляют исторический интерес. Поиск полезных ископаемых ими

вёлся по принципу: ищи всё, что встретишь. Серьёзных методов прогноза большинства рудных скоплений тогда практически не существовало. И всё же И. Ефремовым и А. Арсеньевым верно предсказывалось направление поиска рудного золота в кварцевых жилах. Находки железа самими авторами оценивались невысоко, так же как и угольные пласты в районе Читканды считались ими пригодными только для местных нужд.

В 1938 г. М.Н. Петрусевич вместе с женой Л.И. Казик в верховьях р. Чины открыл Чинейское железо-титан-ванадиевое месторождение, но геологические данные опубликовал только в 1946 г. Поиски, оценку и разведку Чинейского комплексного (железо, титан, ванадий, медь, кобальт, никель, золото, серебро, платиноиды) месторождения провели в 1954-2000 г. геологи Удоканской экспедиции (В.К. и Н.Г. Голевы, В.Н. Павлык, А.А. Сосновских, К.С. Казанов, Ю.Н. Гудым, Н.В. Белова, М.Н. Дэви, В.Л. Виноградов и др. под руководством В.С. Четкина, который по этим и другим материалам защитил кандидатскую диссертацию).

Научно-исследовательские работы на этом месторождении проводили сотрудники ИГЕМа АН СССР (А.П. Лебедев, О.А. Богатиков); ВИМСа (П.С. Саакян, В.М. Федотова, А.А. Савченко); ЦНИГРИ (Р.Н. Володин); МГРИ (В.К. Крюков, К.М. Мельникова, А.Г. Васильев); ЧИПРа (Б.И. Гонгальский, Н.А. Криволицкая); ВостСНИИГГИМСа (Л.И. Яловик, А.В. Татаринов, В.В. Левицкий); Геологического института Бурятского научного центра (Э.Г. Конников, М.Ф. Трунева); Института геологии и геофизики СО АН СССР (А.П. Кривенко, А.Х. Изох).

В результате проведенных всех работ (разведчиков и ученых) было установлено, что Чинейское месторождение расположено в позднепротерозойском диорит-габбро-норитовом массиве площадью 100 км². В нем сосредоточены залежи железо-титан-ванадиевых (с запасами более 30 млрд т. руды) и медно-благороднометалльных (с запасами в 50 % от удоканских) рудных тел, в составе которых выявлено около 200 минеральных видов. Для обогащения чинейских руд предложена технологическая схема, включающая магнитную сепарацию, гидрометаллургию и флотацию. Основной продукцией чинейских руд являются: ванадиевая сталь, феррованадий, титановый шлак, чистые сорта V₂O₅; ильменитовый концентрат с кобальтом, медный концентрат с кобальтом, никелем, селеном, золотом, серебром и платиноидами.

Геологами Лесной экспедиции (Е.И. Бутова, К.К. Денисов и др.) в 1949 г. было открыто Удоканское медное месторождение, первое описание которого дано в 1951 г. А.А. Семихатовым, Г.А. Русиновым и Т.Н. Михайловой с составлением геологической карты. Начиная с 1952 по 1994 г. разведкой и его детальным изучением занимались геологи и другие специалисты Удоканской экспедиции под руководством М.И. Королькова, Э.Ф. Гринталя, В.С. Четкина.

Из ученых, которые одними из первых исследовали Удоканское месторождение, следует отметить аспирантов профессора А.А. Якжина из МГРИ – Ф.П. Кренделева, Н.Н. Бакуна и Р.Н. Володина. Каждый из них имел свою тему. Все они успешно защитили кандидатские диссертации и написали монографию «Медистые песчаники Удоканского месторождения и условия их образования». В 1983 г. после переработки и дополнения новыми материалами в издательстве «Наука» с тем же авторским коллективом вышла монография «Медистые песчаники Удокана», которая по содержанию фактических материалов, теоретическим выводам и практической значимостью не потеряла своего значения.

В течение своей жизни Федор Петрович Кренделев (1927-1987) постоянно занимался изучением генезиса руд Удокана и медистых песчаников в целом. Будучи директором ЧИПРа (198-1987 г.) он нацеливал сотрудников института участвовать в работе по программе «Сибирь» и особенно по основному разделу «Медные руды Удокана». Он неоднократно в 1984, 1985 и 1987 гг. организовывал проведение совещаний и конференций, на которых рассматривались различные проблемы Удокана. В 1987 г. он был организатором XI Всесоюзного совещания по теме «Металлогения Сибири», но не успел в ней поучаствовать в связи с кончиной. Но под его редакцией к этому совещанию был

подготовлен и опубликован «Путеводитель по Кодаро-Удоканскому рудному району», в котором охарактеризованы все известные к тому времени месторождения. В последующие годы исследованиями геологов Удоканской экспедиции и различных научных организаций металлогения региона пополнилась другими полезными ископаемыми.

В 1956-57 гг. в хребтах Удокан и Кодар научные исследования проводили сотрудники Забайкальской экспедиции СОПС АН СССР М.Е. Бердичевская и А.М. Лейтес. Они дали довольно подробную петрографо-минералогическую характеристику меденосных отложений удоканской серии, уточнили ее тектоническую позицию и обосновали направление поисково - разведочных работ в районе.

В 1962 г. к изучению Удоканского месторождения приступили сотрудники геологического отдела недавно сформированного института ЗабКНИИ СО АН СССР. В составе группы на Удокане работали Г.А. Юргенсон, Л.И. Фердман, Ю.П. Безродных, Ю.П. Салов, Е.Н. Наркелюн, чуть позднее А. И. Трубачев, В.С. Салихов, Ю.И. Зиновьев под руководством Л.Ф. Наркелюна. До 1967 г. ими были обследованы все каналы, штольни, керны пробуренных скважин, основные коренные выходы (обнажения) горных пород на водоразделах и распадках в пределах Удоканского месторождения. Были отобраны тысячи проб на различные исследования. Всё это сопровождалось детальной геологической документацией с зарисовками, фотографиями, схемами, разрезами, профилями, колонками. Под микроскопами изучены тысячи шлифов и аншлифов и все наблюдения зафиксированы на фото, в таблицах и диаграммах. В отчёте из трех томов отражены основные результаты всех видов исследований пород и руд Удокана, которые вкратце сводятся к следующему:

- уточнены закономерности размещения рудных тел и их параметры в пределах рудоносных горизонтов и всего месторождения, проявляющиеся: а) в их перемещении от северного фланга к южному; б) распределении в них основных минеральных зон: борнит-халькозиновых и пирит-халькопиритовых; в) в выделении трех четко выявленных и двух прогнозируемых лентообразных рудоносных залежей, сформированных в лагунно-дельтовых фациальных обстановках; все эти закономерности напрямую влияют на направление геолого-разведочных и эксплуатационных работ на месторождении;

– на основе изучения и анализа минерального и геохимического состава руд выявлены: а) новые минералы – карролит, виттихенит, бисмутосферит, удоканит, флюелит¹, халькофиллит¹, бассанит, цианотрихит², миропольскит, гидроантлерит, гидроброшантит, карфосидерит, познякит, долерофанит; б) химические элементы в удоканских рудах четко распределяются по минеральным зонам – в халькозиновой концентрируются золото, серебро, в борнитовой – свинец, висмут, сурьма, молибден, в халькопиритовой – ртуть, олово, индий, цинк, кадмий, селен, в пиритовой – мышьяк, кобальт, никель, теллур; указанные элементы встречаются в разной валентности и форме (самородные, сульфиды, арсенаты, окислы, гидроокислы; было доказано, что присутствие перечисленных элементов раскрывают многие стороны генезиса (происхождения) удоканских руд, а это немаловажно для разработки теории рудообразования;

– собраны дополнительные данные, касающиеся генезиса (происхождения) руд Удокана, это: а) выяснение источников рудного вещества, б) условий формирования руд на разных его стадиях – от седиментогенеза до метаморфизма и гипергенеза, проявившиеся в морфологии, текстурно-структурных взаимоотношениях минеральных парагенезисов, в) выявление и доказательство двух этапов формирования зоны окисления месторождения – первого древнего (с палеозоя до кайнозоя), когда в условиях теплого влажного климата образуются карбонаты и окислы меди и других металлов и второго современного, в условиях многолетней мерзлоты формируются в основном сульфаты меди (до этого считалось, что все геохимические процессы не происходят).

¹ Изучены: Н.А. Криволицкой (ЧИПР СО РАН);

² Изучены: Л.К. Яхонтовой (МГУ).

Все вышеперечисленное и ряд других выявленных факторов: ритмичность и цикличность в распределении пород и руд на месторождении; возрастное скольжение оруденения по латерали и вертикали; участие меденосных горизонтов в строении складчатых структур любой формы и др., служат доказательством первичного седиментационно-диагенетического происхождения руд Удокана. Все последующие преобразования пород и руд под воздействием метаморфизма, магматизма и тектоники наложили свой отпечаток на них, но не изменили их первичной осадочной природы. Это важный вклад в разработку теории рудообразования, позволяющего делать выводы как для прогнозно-поисковых целей, так и для проведения геолого-разведочных и эксплуатационных работ. Геологи Удоканской экспедиции (М.И. Корольков, Э.Ф. Гринвальд, В.А. Кривенко, В.С. Четкин и др.), руководствуясь этими идеями и находя их подтверждение на самом Удокане, успешно довели его разведку с утверждением запасов в ГКЗ и передачи всех материалов промышленности. (Наркелюн, Юргенсон, 1968; Наркелюн и др., 1977; Птицын и др., 2003; Юргенсон, 1997).

Другим рудным гигантом в регионе является Катугинское комплексное месторождение. Изучением и разведкой Катугинского месторождения занимались геологи Удоканской экспедиции – Н.Б. Юсупов (первооткрыватель месторождения), Ю.В. Быков, В.С. Четкин, М.И. Тулухонов, В.Ф. Моренко, В.Л. Виноградов и др., исследователи из различных НИИ: ВИМСа (В.В. Архангельская, В.С. и М.А. Кудрины, Т.Н. Шурига, К.В. Прохоров, Л.В. Сумин, Ю.С. Кушпаренко, И.Д. Докшина, Г.А. Сладкова, В.Н. Муленко, Л.Н. Якушин); ИГЕМа (В.И. Казанский, С.М. Бескин); СибГЕОХИ СО РАН (Л.В. Таусон, В.Н. Собаченко, Г.С. Плюснин, В.И. Николаев и др.); ГИРЕДМЕТа (Л.Б. Зубков, Г.Ф. Ефанова, Г.Б. Зубынин и др.).

Месторождение относится к типу полевошпатовых метасоматитов. Его руды являются комплексными – главные полезные компоненты: тантал, ниобий, цирконий, попутные: иттрий, редкие земли (церий, лантан), уран, торий, криолит и флюорит. Минералами-концентрами являются – пироксеновые (тантал, ниобий, уран, торий, иттрий, редкие земли); циркон (цирконий, гафний), гагаринит (иттрий, редкие земли), редкоземельный флюорит (иттрий, редкие земли). Всего же в рудах месторождения установлено около 100 минералов. На месторождении при разведке оконтурено три рудных тела в основном пластообразной, реже более сложной (линзы, гнезда и др.) формы с размерами – длиной от сотен метров и до первых километров (2,5), мощностью от 5 до 650 м. При геолого-технологическом картировании на месторождении установлены танталовые, иттриевые и криолитовые типы руд.

На основе учета вещественного состава руд, их текстурно-структурных особенностей и технологических свойств минералов и руд разработана единая гравитационно-магнитно-флотационная схема обогащения, по которой из катугинских руд получены следующие технологические продукты: пироксеновый (тантал-ниобиевый), редкоземельный, цирконовый, криолитовый, кварц-полевошпатовый концентраты и амфиболовый продукт.

Изучением благородных металлов в регионе занимался Б.Н. Абрамов (2007), выявивший источники и этапы их формирования и определил, что наиболее перспективными являются медистые песчаники, черносланцевые отложения, золото-кварц-сульфидная формация и базиты чинейского комплекса.

Нельзя не отметить еще два момента. Когда-то остро стоял вопрос о возрасте меденосной удоканской серии. Предложены различные методы определения абсолютного возраста (уран-свинцовый, неодий-стронциевый, калий-аргоновый и др.), а также и относительного возраста. Большой заслугой в решение этого вопроса следует считать работы С.М. Синица и ее помощников, которые детально изучили так называемую «удоканскую биоту». Это следы жизнедеятельности многих организмов: медузоидов, бесскелетных проблематичных *удоканий*, *талаканиеллей*, *бутунеллий*, *немианий*, *птеридиниумий*, построек цианобактерий, являющиеся *первыми поселенцами* нашей планеты в Забайкалье. Удоканская биота – это единственная находка в мире, представленная следами жизнедеятельности первых животных, появившихся на нашей планете около 2 млрд лет назад.

Большие споры ведутся о геотектонической позиции отложений удоканской серии и находящихся в них месторождений. По классической геосинклинальной концепции Удоканское месторождение (и его спутники) располагаются в Кодаро-Удоканском протоплатформенном прогибе Алданского щита на территории Сибирского кратона (платформы), а по версии модной ныне тектоники плит – в протоорогенном рифтовом прогибе, заложенном по периферии Сибирского кратона, в котором геодинамическая обстановка отвечала задуговому спредингу (В.С. Салихов). Совсем недавно (2020 г.) иркутские ученые из Института земной коры СО РАН Д.П. Гладкочуб, А.М. Мазукабзов, Т.В. Донская установили, что отложения удоканской серии (возраст по их данным 1,87-1,9 млрд лет) формировались в течение очень короткого (30 млн лет) времени и это феноменальный случай, не имеющий аналогов в геологической истории Земли. Эти отложения по их мнению накапливались в бассейне внутриконтинентального растяжения на стадии коллапса раннепротерозойского орогена, находившегося внутри Алданского супертеррейна. По разломам, ограничивающих бассейн внутриконтинентального растяжения поступали флюиды, обогащенные медью и другими металлами, которые были источником этих металлов для Удоканского и Чинейского месторождений.

Кроме чисто геологических проблем в Кодаро-Удоканском регионе исследовались: сейсмичность и землетрясения (В.П. Солоненко, С.Д. Хилько и др. из Института земной коры СО РАН); мерзлота и процессы в криолитозоне (И.А. Некрасов, С.И. Заболотник, И.В. Климовский, Д.М. Шестернев из Института мерзлотоведения ЯФ СО РАН); деятельность ледников и связь с ним россыпных месторождений золота (Ф.И. Еникеев, долгие годы работавший в Удоканской экспедиции, а в последние годы, будучи уже доктором геолого-минералогических наук и ведущим научным сотрудником ИПРЭКа СО РАН); проблемы геоморфологии, курумообразования и изучение ландшафтов (Ф.П. Кренделев, И.И. Железняк, И.Ю. Мальчикова и др. из ЧИПРа); гидрогеологическое и гидрогеохимическое изучение Удокана (Л.В. Замана, М.Т. Усманов, А.П. Чечель из ИПРЭКа).. Изучение минералого-геохимических и мерзлотных факторов на Удокане позволило сформулировать новые научные направления под названием *криогеогеология* (Г.А. Юргенсон) и *криогеотехнология* (А.Б. Птицын).

Различные точки зрения, особенно на генезис руд Удоканского и других месторождений предлагали В.Н. Бурмистров, Ф.И. Вольфсон, И.Ф. Габлина, И.П. Резников, А.В. Сочава, Б.Н. Немеров и другие.

Библиографический список

1. Абрамов Б.Н. Геодинамика и рудно-геохимическая специализация на благородные металлы геологических и рудных формаций юго-восточного обрамления Сибирской платформы (Кодаро-Удоканская зона и Средневитимский фрагмент Муйской зоны)- Автореф. дисс. д-ра геол.-минер. наук, Чита, 2007, 46 с.
2. Гонгальский Б.И. Протерозойская металлогения Удокан-Чинейского рудного района (Северное Забайкалье) – Автореф. дисс. д-ра геол.-минер. наук, М., 2012, 43 с.
3. Наркелюн Л.Ф., Безродных Ю.П., Трубачев А.И., Салихов В.С. Медистые песчаники и сланцы южной части Сибирской платформы. – М: Недра, 1977, 224 с
4. Наркелюн Л.Ф., Юргенсон Г.А. Об источниках рудного материала при образовании месторождений типа медистых песчаников //Литология и полезн. ископ, 1968, №6. – С. 114-123.
5. Птицын А.Б., Замана Л.В., Юргенсон Г.А. и др. Удокан: Геология, рудогенез, условия освоения. – Новосибирск: Наука, 2003. – 160 с.
6. Юргенсон Г.А. Зона окисления в многолетнемерзлых породах //Записки Всерос. Минер. об-ва, 1997, вып. 5. – С. 15-27.

7. Научный туризм

УДК: 550.42

Сравнительная характеристика содержания химических элементов V группы периодической системы, урана и тория в обнажениях отложений укурейской свиты Восточного Забайкалья

Юргенсон Г.А., Василенко Е.А.

Институт природных ресурсов экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия,
yurgga@mail.ru; mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com

Аннотация. В статье проведен сравнительный анализ содержаний химических элементов V группы периодической системы, урана и тория в обнажениях отложений укурейской свиты Восточного Забайкалья как содержащих остатки динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus*, так и без них.

Ключевые слова: *Kulindadromeus zabaikalicus*, уран и торий.

Comparative characterization of the content of chemical elements of group V of the periodic system, uranium and thorium in outcrops of the ukureyskaya formation of Eastern Transbaikalia

Yurgenson G.A., Vasilenko E.A.

Institute of nature sciences ecology and cryology SB RAS, Chita, Russia,
yurgga@mail.ru; mr.evgeniy.vasilenko@gmail.com

Abstract. The article provides a comparative analysis of the contents of chemical elements of group V of the periodic system, uranium and thorium in outcrops of the ukureyskaya formation of the Eastern Transbaikalia, both containing the remains of dinosaurs *Kulindadromeus zabaikalicus* and without them.

Keywords: *Kulindadromeus zabaikalicus*, uranium and thorium.

Среди отложений укурейской свиты в восточном Забайкалье наибольший интерес вызывает урочище Кулинда, где в 2010 году были обнаружены остатки самого древнего на планете, оперенного птицетазового динозавра *Kulindadromeus zabaikalicus* [5]. Среди горных пород местонахождения выделены основные типы горных пород: дресвяники, песчаники, хлидолиты и алевролиты [2]. Известно, что эти горные породы характеризуются сверхкларковыми содержаниями химических элементов V группы периодической системы, урана и тория [1, 3, 4].

Для выявления закономерностей распределения химических элементов V группы периодической системы в отложениях укурейской свиты Восточного Забайкалья проведен сравнительный анализ их содержаний в урочище Кулинде (73 образца) и разрезе в окрестностях с.п. Старый Олов (11 образцов, рисунок 1). Сравнение проводилось на основании химического анализа методом ICP-MS, полученные данные обработаны методами математической статистики.

Разрез в окрестностях с.п. Старый Олов сложен исключительно песчаниками, поэтому сравнение содержаний V группы периодической системы химических элементов представляется возможным рассмотреть только среди этого типа горных пород и показано в таблице 1. Видно, что содержания ванадия и фосфора в изучаемых разрезах близки или меньше средних значений для земной коры, а мышьяк сурьма и висмут кратно превышают их в урочище Кулинда. Песчаники из разреза в окрестностях с.п. Старый Олов отличаются относительно низкими содержаниями сурьмы, не превышающими средние содержания в земной коре (таблица 1).

Рассмотрено содержание урана и тория. Определено, что наименьшие содержания тория в изучаемых разрезах не превышают средние содержания в земной коре, а максимальные превышают его лишь незначительно. Минимальные содержания урана превышают кларк в песчаниках урочища Кулинда, а максимальные определены в туфоалевролитах того же разреза (в 45,9 раз).

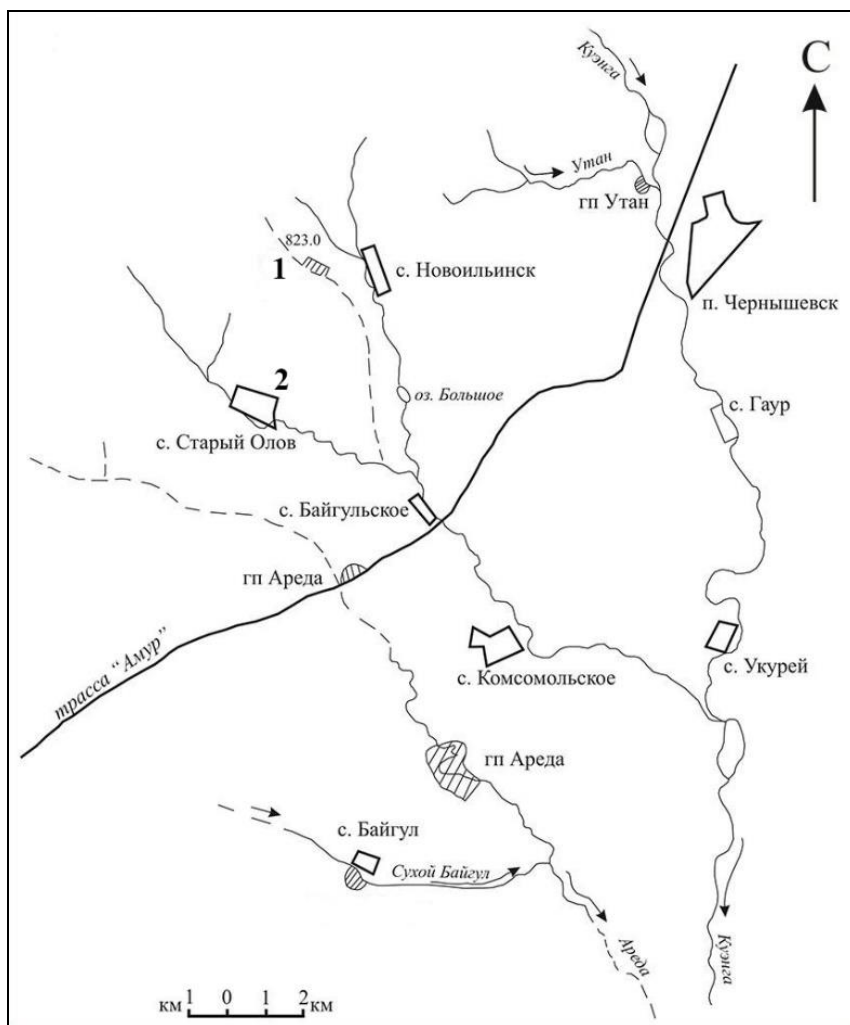


Рисунок 1. Расположение изучаемых обнажений укурейской свиты в Восточном Забайкалье: 1 – урочище Кулинда, 2 – разрез в окрестностях с.п. Старый Олов.

Таблица 1

Содержание химических элементов V группы периодической системы в изучаемых обнажениях укурейской свиты Восточного Забайкалья

Объект	Статистическая характеристика	Элемент и его содержание, ppm				
		V	P	As	Sb	Bi
урочище Кулинда	n	73	73	73	73	73
	x	43,95	510	60	4,86	0,43
	σ	14,39	0,04	40,25	2,15	0,58
	σ/x	0,32	0,00078	0,67	0,44	1,35
	x/среднее содержание в земной коре	0,49	0,55	35,29	9,72	47,78
окрестности с.п. Старый Олов	n	11	11	11	11	11
	x	94,182	900	30	0,414	0,141
	σ	65,65	439,12	12,66	0,22	0,11
	σ/x	0,7	0,49	0,42	0,53	0,78
	x/среднее содержание в земной коре	1,05	0,97	17,65	0,83	15,67

Средние содержания урана и тория показаны на рисунке 2. Видно, что содержание тория в разрезе в окрестностях с.п. Старый Олов находится в пределах кларка, а в урочище Кулинда примерно в два раза меньше (6,9 ppm). Для урана, наоборот, концентрации достигают

пределных величин. Это обусловлено, прежде всего, высокими его содержаниями в апотуфоалевролите (38,93 ppm) и хлидолите (35,46 ppm), вмещающих остатки динозавровой фауны.

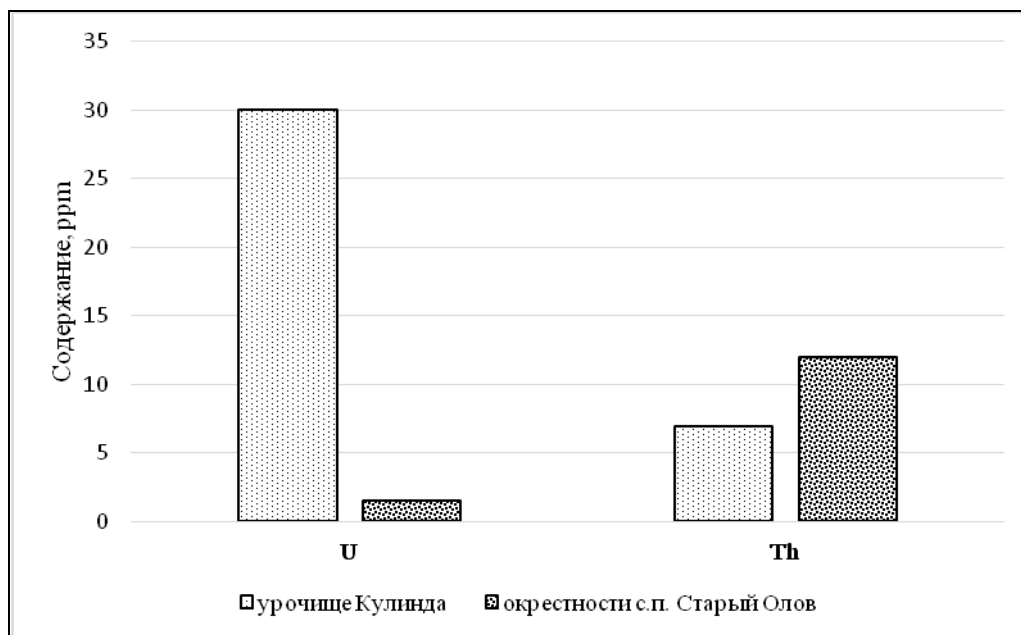


Рисунок 2. Средние содержания урана и тория в изучаемых обнажениях укурейской свиты Восточного Забайкалья.

Соотношение средних содержаний тория и урана в песчаниках рассматриваемых разрезов иные (рисунок 3). В отличие от вариаций содержаний по всем типам горных пород (рисунок 2) содержание тория в песчаниках урочища Кулинда больше (12 ppm), чем в разрезе в окрестностях с.п. Старый Олов. При этом закономерности содержаний урана меняются незначительно.



Рисунок 3. Средние содержания урана и тория в песчаника укурейской свиты Восточного Забайкалья.

Проведя сравнительный анализ содержаний химических элементов V группы периодической системы, урана и тория в обнажениях отложений укурейской свиты Восточного Забайкалья можно сделать следующие выводы:

1. Содержание химических элементов V группы периодической системы максимальны для отложений в урочище Кулинда. Коэффициенты концентрации Sb, Bi, As по сравнению с кларком составляют соответственно 44,12-82,52; 9,78-13,56; 4,56-9,30, при этом содержания этих элементов в разрезе в окрестностях с.п. Старый Олов близко или не превышает среднее содержание в земной коре.

2. Наибольшие содержания урана определено в отложениях урочища Кулинда и значительно превышает среднее содержание в земной коре. При этом наибольшее количество тория обнаружено в песчаниках этого же разреза.

3. Проведенный сравнительный анализ обнажений отложений укурейской свиты Восточного Забайкалья, как содержащих ископаемые остатки динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus*, так и без них, показывает, что эти отложения имеют существенные отличия.

Библиографический список

1. Василенко Е.А., Юргенсон Г.А., Сеница С.М., Решетова С.А. Первые данные о содержаниях 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. Юргенсон Г.А., Василенко Е.А., Сеница С.М., Решетова С.А. Литолого-петрографические и геохимические особенности отложений укурейской свиты местонахождения динозавров *Kulindadromeus zabaikalicus* Кулинда как критерии состояния палеоландшафта. 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. 274-278.

3. Юргенсон Г.А., Василенко Е.А. Уран и торий в отложениях укурейской свиты Оловской впадины Забайкалья, вмещающих ископаемые остатки птицеподобных динозавров нового рода *Kulindadromeus zabaikalicus*. В сборнике: Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы VI Международной конференции. В 2-х томах. Томск, 2021. – С. 626-629.

4. Vasilenko E.A. Antimony, arsenic and bismuth in sediments of the ukureyskaya formation of the olovskaya depression in Transbaikalia, containing fossil remains of the dinosaurs of a new genus and species *Kulindadromeus zabaikalicus*. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Ser. "Evolution of Biosphere and Technogenesis, 2nd EBT 2021" 2022. – С. 012061.

5. 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.

**Возможности развития научного туризма (историко-географический аспект)
в Забайкальском крае в районе Ивано-Арахлейских озер**

Константинов А.В.

Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия, konstant1956@mail.ru

Аннотация. В статье показаны возможности развития научного туризма (историко-географический аспект) в Забайкальском крае на примере района Ивано-Арахлейских озер. Отмечается широкий спектр памятников и событий, происходивших в этом районе со времени заселения его человеком и до современности. Среди важнейших разнообразные археологические памятники, водные и сухопутные пути землепроходцев XVII в., Иргенский острог, тракты, христианские и буддийские святые места, места связанные с пребыванием академических экспедиций XVIII в.

Ключевые слова: Забайкальский край, Ивано-Арахлейские озера, историко-географические объекты, археологические памятники.

**Opportunities for scientific tourism development (historical and geographical aspect)
in Zabaikalsky Krai in the Ivano-Arakhleisky Lakes area**

Konstantinov A. V.

Transbaikalia State University, Chita, Russia, konstant1956@mail.ru

Abstract. The article presents possibilities of scientific tourism development (historical and geographical aspect) in Zabaikalsky Krai on the example of Ivano-Arakhleisky Lakes region. A wide range of sites and events occurring in the area from the time of its human settlement up to the present time is brought to attention. Among the most important there are various archeological monuments, water and land routes of explorers of the 17th century, Irgen Ostrog, roads, Christian and Buddhist holy places, places connected with academic expeditions of the 18th century.

Keywords: Zabaikalsky Krai, Ivano-Arakhleiskoe lakes, historical and geographical sites, archaeological monuments.

Район Ивано-Арахлейских озер (Забайкальский край, Читинский район) являются любимым местом отдыха жителей края. С развитием транспортной структуры район «приблизился» к краевому центру и фактически обрел статус его окрестностей. Попасть сюда можно попасть по хорошим дорогам со стороны Читы, а также от ст. Сохондо и со стороны Бурятии от с. Телемба, к услугам туристов и полевые дороги. Поток туристов с каждым годом возрастает и важно обеспечить туристов научной информацией. О природной привлекательности района озер имеется значительное число публикаций. Мы же коснемся историко-географического аспекта проблемы. Отметим, что в настоящее время нет ни одной обобщающей работы по этой теме. Наша цель – обобщить и систематизировать этот материал.

Как известно, озера имеют водораздельное положение, и это определило их роль как своеобразную «точку притяжения» со времени их формирования, вероятно, в начале голоцена. На территории, примыкающей к озерам, известны стоянки, могильники, отдельные погребения, наскальные рисунки, памятники русской археологии, которые датируются от времени неолита и до этнографической современности. Эти памятники археологизированы, т.е. находятся в земле (за исключением наскальных рисунков) и внешне чаще всего не выражены.

История изучения археологических памятников района озер 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 из талькового сланца для изготовления ножей. Находки были описаны сотрудником музея А.И. Махаловым и получили известность как шакшинский клад [4].

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. У протоки соединяющей озера Иван и Тасей был заложен шурф, который не дал материала.

Предварительный и далеко не полный отчет по итогам этих исследований хранится в Забайкальском краевом краеведческом музее им. А.К. Кузнецова [5].

По сведениям В.Е. Ларичева в 1957 г. сотрудником геологоразведки А.А. Данжуровым в Читу была доставлена коллекция каменных орудий и керамики, собранная им в районе оз. Иргень. В 1958 г. берега озера осматривал и вновь собрал разнообразный материал отряд Бурятской экспедиции под руководством А.П. Окладникова. В составе отряда были аспирант В.Е. Ларичев и доцент Читинского пединститута М.И. Рижский. В статье В.Е. Ларичева и М.И. Рижского «Озерный неолит и ранняя бронза Восточного Забайкалья...» (1966) обобщены результаты этих сборов [3]. Также здесь приводится схема расположения археологических находок, выполненная А.А. Данжуровым. Все находки встречались на протяжении около 1,5 км с восточной стороны озера между береговым валом и р. Хилок в понижениях на разрушенной поверхности I-й озерной террасы. Среди находок фрагменты керамики с разнообразным орнаментом, различные формы нуклеусов, с которых снимались микропластины, отщепы и пластинки обработанные своеобразной зубчатой и пильчатой ретушью, скребки, тесло из белого нефрита и т.д. Авторы считали, что эти стоянки оставлены таежными рыбаками и охотниками и прослеживали их связи, прежде всего с населением Прибайкалья и Якутии.

В 1975 г. по результатам исследования могильника на оз. Ундугун И.И. Кирилловым и Е.В. Ковычевым – преподавателями Читинского государственного педагогического института им. Чернышевского, выделена ундугунская культура датированная XII-XV вв., носителями которой являлись по их мнению тунгусоязычные племена. Наиболее крупные могильники ундугунской культуры выявлены в районе озер – Шакша, Ундугун, Тасей. Население ундугунской культуры занималось охотой, рыболовством и скотоводством [2].

Отдельное захоронение выявлено в верховьях р. Дутулур, впадающей в оз. Иван. На его наличие обратил внимание житель с. Иван-Озеро П.С. Кобелев (известный как Павел-пилот). Погребение было изучено при активном содействии жителей с. Иван-Озеро. Расположено оно на вершине одного из увалов, откуда открывается широкая панорама озер. Оно представляет собой наземную конструкцию прямоугольной формы, выложенную по периметру скальными обломками в один-два яруса. Погребение вторичное – разрозненные кости человека лежали на поверхности лишь слегка перекрываемые тонким слоем земли и листьями. Погребенного сопровождал разнообразный инвентарь – стремена, удила, пряжки, 20 наконечников стрел (видимо, были положены в колчане). Среди находок российские монеты 1749 г. Судя по всему, на вершине увала был похоронен известный охотник. Погребение датируется XVIII в.

В начале 2023 г. житель Читы Р.А. Утюжников во время осмотра останцов в верховьях р. Грязнуха, впадающей в оз. Арахлей, на Яблоновом хребте (недалеко от Горы Палласа) обратил внимание на наличие в основании одного из них небольшого грота и возможность наличия наскальных рисунков. Наличие их подтвердилось в ходе их посещения автором статьи с группой студентов-историков в марте этого же года. В гроте выявлено несколько плоскостей с рисунками, выполненными красной охрой. Еще предстоит выполнить их описание и документирование. Отметим, что берега озер продолжают активно осваиваться и требуется постоянный мониторинг за состоянием известных археологических памятников и поиск новых.

Особо следует упомянуть места в районе озер связанные с начальным периодом освоения Забайкалья русскими землепроходцами. Здесь у оз. Иргень в середине XVII в. заканчивался водный путь на восток – «встречь солнца». 370 лет назад в сентябре 1653 г. до озера, следуя вверх по Хилку, на лодках с большими сложностями добрался отряд сотника П. Бекетова и выполняя государев наказ заложил на его берегу Иргенский острог. От озера начинался кратчайший сухопутный путь по рр. Рушмалеям на Ингоду – Иргенский волок. Через несколько лет этот же путь прошел отряд первого даурского воеводы А. Пашкова (кстати, большую часть времени пребывания в Забайкалье он находился в Иргенском остроге). Именно в его отряде находился с семьёй опальный протопоп Аввакум. В своём

«Житие» он отметил, что шел сюда три года «против воды» по Енисею, Ангаре, Байкалу, Селенге и Хилку, а затем «стали волоком волочиться». Опубликованные «отписки» П. Бекетова, «Житие» протопопа Аввакума содержат яркие и выразительные картины сложностей первых походов, описаний природы, рыбной ловли на Иргени, примеров взаимоотношений с местным населением – «бращими людьми» и т.д.

Место нахождения Иргенского острога было установлено в 1983 г. в ходе археологических изысканий проводимых И.И. Кирилловым и Е.В. Ковычевым. Археологизированные остатки острога были обнаружены с восточной стороны оз. Иргень у протоки, соединяющей озеро с р. Хилок [1]. В XIX в. на месте острога возник миссионерский стан. Иргень стала святым местом – единственным христианским святым местом от Байкала до Тихого океана, ежегодно на Иргень совершался крестный ход. В настоящее время на северном берегу озера на высокой террасе предпринята попытка воссоздать Иргенский острог и использовать его для приема туристов.

В XVIII в. этот район озер посетили руководители академических экспедиций – Д.Г. Мессершмидт и Г.Ф. Миллер. Посетивший Иргенский острог историк Г.Ф. Миллер отмечал, что он находится в полуразрушенном состоянии, а рядом на берегу Хилка можно было видеть остовы лодок. Д.Г. Мессершмидт оставил описание рыбного промысла и выплавки железа в Шакшинском селении, которое первоначально находилось у протоки, соединяющей оз. Шакша с оз. Арахлей.

Мимо оз. Шакша в районе с. Беклемишево прошел Московский тракт – основная дорога, связывающая центр страны с Забайкальем. Об этом участке тракта существует достаточно много упоминаний различных чиновников, ссыльных, в том числе и декабристов. В связи со знаменитой Нерчинской каторгой тракт часто стал именоваться кандалным. Рядом с с. Беклемишево находился тюремный полуэтап. В последующем два здания с характерной архитектурой были перенесены в село и до сих пор используются как жилые помещения. В настоящее время участок тракта, проходящий через Яблоновый хребет в направлении к с. Домна-Ключи, является труднодоступным. В начале XX в. через Яблоновый хребет проложили Романовский тракт к с. Романовка откуда начинались сплавы по Витиму.

В статье приведены далеко не полные данные, касающиеся историко-географических объектов Ивано-Арахлейских озер. Не затронутыми остаются события Гражданской войны в этом районе (апрельские бои 1920 г.), события Великой Отечественной войны (военный учебный аэродром в районе оз. Иван) и т.д. Все это еще предстоит сделать.

Библиографический список

1. Болтунов А.Г. Памятники русской археологии на территории Читинской области // Проблемы археологии Северной Азии (К 80-летию академика А.П. Окладникова). Тезисы докладов XXVIII РАСК. – Чита, 1988. – С. 128-130.
2. Кириллов И.И. Ундугунская культура железного века в Восточном Забайкалье // По следам древних культур Забайкалья. – Новосибирск: Наука, 1983. – С.123-138.
3. Ларичев В.Е., Рижский М.И. Озерный неолит и ранняя бронза Восточного Забайкалья: стоянки в районе озер Иргень и Кенон // Сибирский археологический сборник / Материалы по истории Сибири. Вып. 2. Древняя Сибирь. – Новосибирск, 1966. – С. 94-128.
4. Махалов А.И. Формы для отливок и бронзовые ножи из Забайкалья // Материалы Читинского краеведческого музея им. А.К. Кузнецова, Вып.1. Археология. – Иркутск-Чита, 1929. – С.19-24.
5. Нестеренко В.В. Археологические исследования Г.П. Сергеева в Забайкалье // Гуманитарный вектор. 2012. №2(30). – С. 41-46.

Воицкий рудник. Серебряная гора. Легенды и реальность*Кузьминых Е.Н.*

e-mail:elen13@mail.ru

Аннотация. Приведены новые данные о горно-геологическом памятнике – руднике XVIII века Воицком, разрабатывавшем одноименное месторождение самородного золота в окрестностях городского поселения Надвоицы в Карелии и находящейся в его окрестностях Серебряной горе. Месторождение было первым в России, содержащим самородки золота в коренном залегании, которые хранятся в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН. Эта территория может быть уникальным объектом научного туризма.

Ключевые слова: горно-геологический памятник, месторождение золота Воицкое, самородное золото, научный туризм, Надвоицы, Карелия

Voitsky mine. Silver mountain. Legends and reality*Kuzminykh E.N.*

e-mail:elen13@mail.ru

Abstract. New data are presented on the mining and geological monument - the Voitsky mine of the 18th century, which developed the native gold deposit of the same name in the vicinity of the urban settlement of Nadvoitsy in Karelia. The deposit was the first in Russia to contain nuggets of gold in bedding, which are stored in the Mineralogical Museum. A.E. Fersman RAS. This territory can be a unique object of scientific tourism.

Keywords: mining and geological monument, Voitskoye gold deposit, native gold, scientific tourism, Nadvoitsy, Karelia.

«В лазоревом поле червлёная, поддерживаемая по сторонам двумя золотыми, стоящими на одном колене и опирающимися на золотые же опрокинутые кирки, гномами (длиннобородыми старцами в колпаках, поколенных одеяниях и мягких сапогах) гора, из вершины которой три серебряных потока изливаются в серебряную же оконечность, обременённую червлёным солнцем (без изображения лица), диск которого кольцеобразно просечён в цвет оконечности. Щит увенчан муниципальной короной установленного образца...» – так звучит геральдическое описание герба Надвоицкого городского поселения [22], расположенного на сегодняшний день в Сегежском районе Республики Карелия. Изображение герба поселения перекликается с изображением на эмблеме Горного департамента – центрального государственного учреждения Российской империи по управлению горнозаводскими округами просуществовавшего с 1806 по 1918 год (рисунок 1).

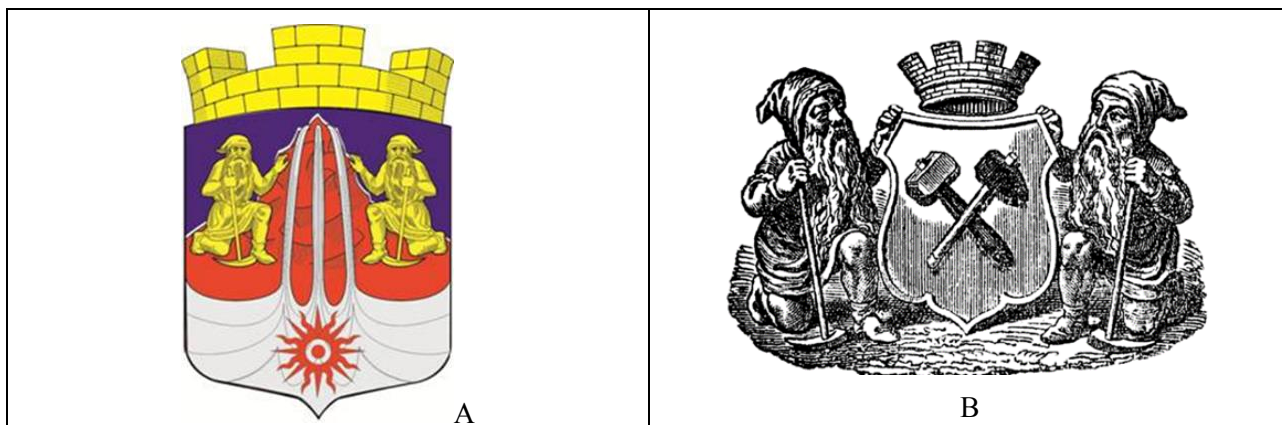


Рисунок 1. Изображение герба Надвоицкого городского поселения (А) и эмблемы горного департамента Российской империи (В).

Выбор символики не случаен и основан на горно-геологических событиях этой местности протяженностью около трех веков. Начало им было положено в 1737 г. крестьянином Воицкой волости Тарасом Антоновым, который отыскал медноколчеданную жилу

неподалеку от д. Надвоицы и, добыв несколько кусков руды, представил их в Горное Петрозаводское правительство. Открытый на базе этой жилы Воицкий рудник, где с 1742 г. добывалась медь, а затем, с 1744 г. – золото, приобрел известность в истории горного дела России как первый, давший стране самородное рудное золото. За время эксплуатации рудника – с 1742 по 1794 г. добыто около 106 т меди с попутным извлечением золота более 76 кг. Жила по простиранию была выработана на 40 м, по падению – на 100 м при средней мощности 0,7 м. Содержание меди в руде достигало 14,2%, золота – 0,1-12,2 % [11]; встречались золотые самородки губчатого строения массой до 400 г [24].

По причине тяжелых горнотехнических условий и высокой себестоимости добычи рудник дважды закрывался, а 27 мая 1794 г. по повелению Императрицы Екатерины II он был закрыт окончательно.

Руды Воицкого месторождения описаны как золото-медно-сульфидно-кварцевые, прожилковые и гнездовые. Детальное их изучение, выполненное с использованием современного лабораторного оборудования, позволило отнести рудные жилы к низкотемпературным, содержащим Ag, Mo, Se, Te, Th, Sc, Y, La и лантаноиды, образующим соответствующие минералы в рудах и околорудных измененных кварцито-песчаниках. В рудах установлен широкий спектр замещений. Серебро обнаружено в небольших количествах и только в изоморфной связи с золотом [11].

Руднику Воицкий в 1998 г. присвоен статус памятника истории (достопримечательного места) регионального значения (Номер в реестре – 101730749250005). В паспорте памятника [20] приведены сведения как о самих горных выработках, так и отдельных элементах его инфраструктуры, которые по большей части утрачены или не обозначены на местности.

Месторождению Воицкое и руднику посвящено большое количество публикаций [1, 3, 4, 7-14, 18, 20-21, 23-25]. Во многих из них описываются прилегающие территории, которые уже с XVII века также служили объектами кустарных разработок (первое упоминание о деревне Надвоицы относится к 1620 году, это были владения Соловецкого монастыря).

Помимо неоспоримого факта разработки Воицкого месторождения имеются сведения о том, что старообрядцы, основавшие в этом районе свои пустыни, добывали в окрестностях монастырей золото, серебро, медь, свинец и железо. Причем, серебро и медь добывались, видимо в весьма значительных количествах, так как, например, медные складни старообрядцев, выделки того времени, в изобилии распространены по всему северу [10]. Из серебра же, также в не малом количестве, выделывались собственные серебряные рубли [3, 10].

К сожалению, до сих пор не было принято серьезных мер к тому, чтобы разыскать и осмотреть места добычных работ.

Упоминания о наличии и добыче серебра конкретно в окрестностях Надвоиц встречается только в рассказах старожилов, которые не имели отношения к горно-геологическому делу и могли ошибаться или основываться на визуальных ощущениях.

Наиболее подробное обозрение Воицкого рудника и его окрестностей было выполнено в 1792г. путешественником Н.Я. Озерецковским [18], в 1809 г. – академиком В.М. Севергиным [23], в 1828 г. – маркшейдером А.Ф. Граматчиковым [7] и в 1877 г. – русским ученым-геологом Иностранцевым А.А. [9]. Во всех этих работах упоминается Гора Серебряная, которая и служит объектом для рассмотрения в данной статье.

Каковы географические границы этой горы, было и есть ли основание для такого наименования и какие существуют доказательства наличия здесь самородного серебра в значимых количествах?

Итак, обращаясь к вышеназванным авторам и их работам. Первое письменное упоминание о Серебряной горе находим у Озерецковского Н.Я. в книге «Путешествие по озерам Ладожскому и Онежскому»: «Славный Воицкий рудник находится при озере Выг называемом и при реке того же имени, впадающей в Белое море. Против сей горы, которая называется Воицкою, на противной стороне реки Выга лежит гора Серебряная, которая составляет там левый реки оной берег» [18]. Для иллюстрации положения объектов

Озерцовский использовал план местности 1792 г. (рисунок 2), который можно найти в Научной электронной библиотеке (НЭБ) [20].

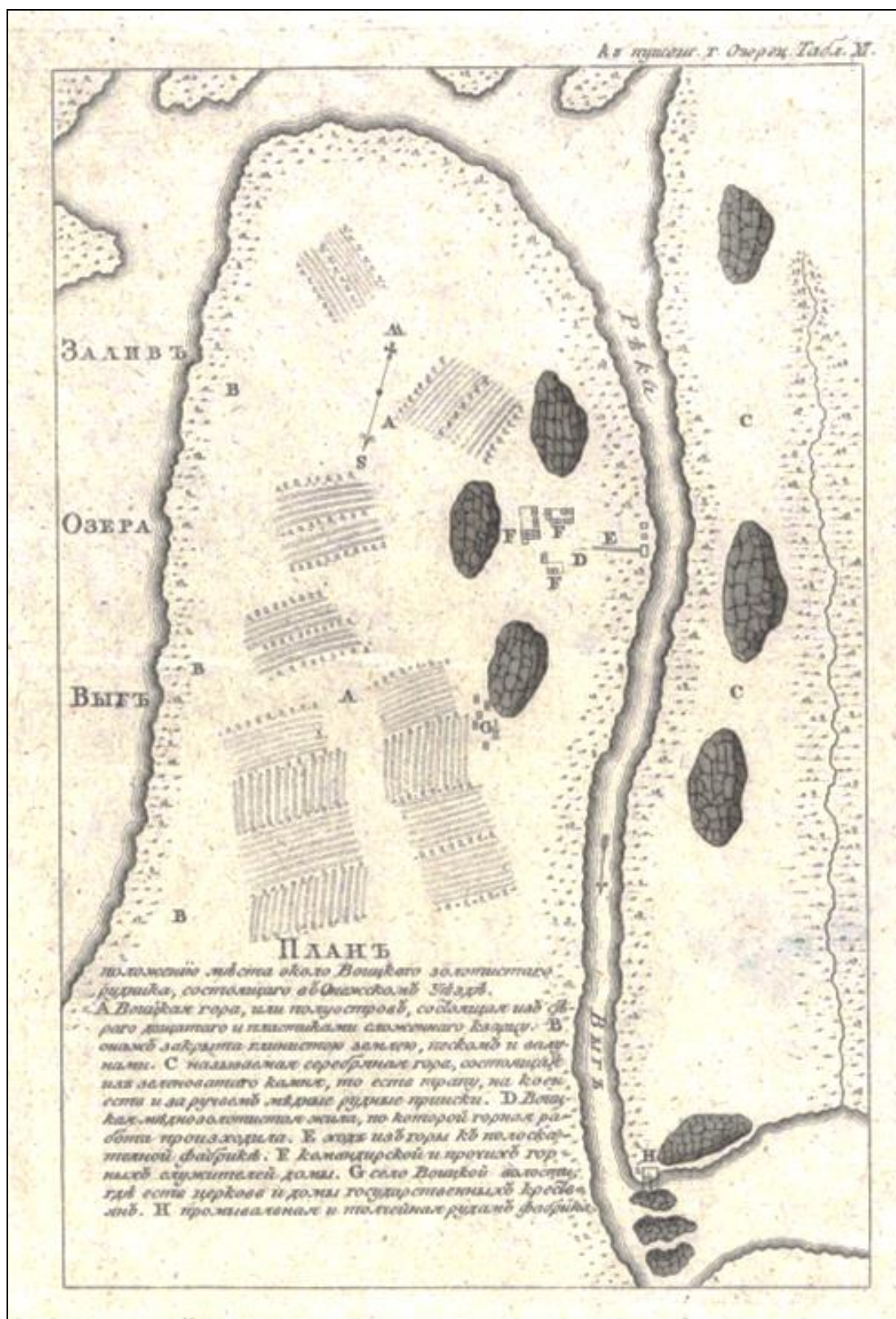


Рисунок 2. План местности около Воицкого рудника 1792 г. [20].

На плане отмечено положение как Воицкого рудника, так и части Серебряной горы, а также дано указание на медные рудные прииски за ручьем. Этот ручей до сегодняшнего дня имеет название Лете-ручей. Затем, в 1809 г., Севергин В.М., дал первые и, скорее всего,

самые полные сведения о границах и самое логичное объяснение самого названия Серебряной горы (рисунок 3).

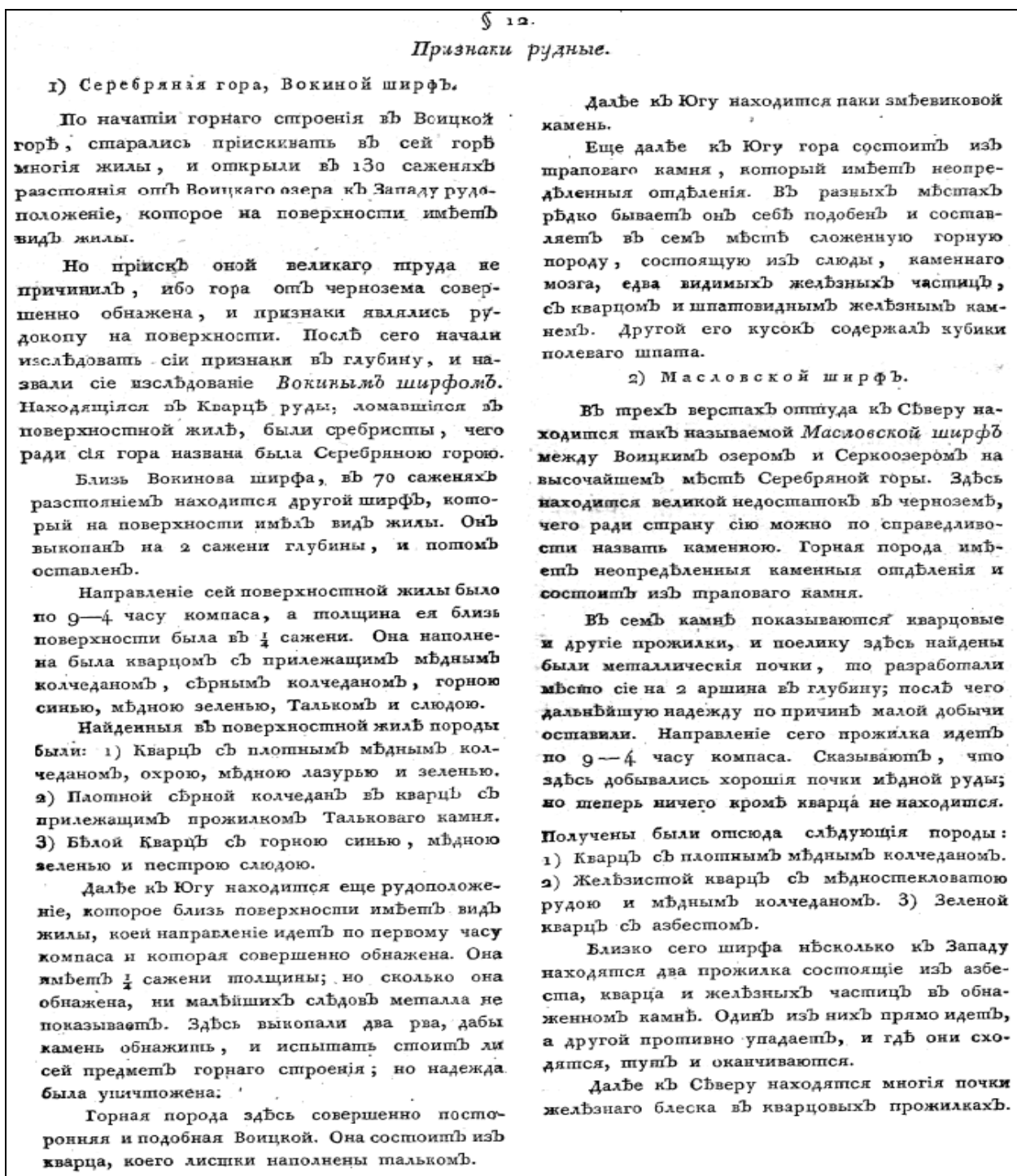


Рисунок 3. Скан из книги Севергина В.М. «Опыт минералогического землеописания российского государства» (Стр.19-21) [23].

Как видим, здесь не приводится никакого упоминания о серебре, а только лишь о серебристой породе. Кроме того, в первоначальных описаниях руд, вскрытых шурфами (Шамшевы и Саймановы ширфовки) рядом с Воицким рудником, на Серебряной горе (Вокиной ширфъ, Масловский ширфъ), а также на Роговой горе (Ерцовский ширфъ) указаны лишь медный (халькопирит) и серный (пирит) колчеданы, желѣзный блеск (гематит), магнитный желѣзняк (магнетит), медная синь (азурит) и зелень (малахит) и желѣзная охра (смесь оксигидроксидов и гидроксиды железа (лимонит, гѣтит, лепидокрокит, гидрогѣтит,

гидрогематит). Позднее заложенными горными выработками в ходе изучения Воицкого рудника и его окрестностей в 1827 г. горной экспедицией под руководством маркшейдера Граматчикова А.Ф. [7] были открыты золотоносные пески, подтверждающие золотоносность территории в целом.

Довольно подробную геогностическую (геологическую) карту местности, составленную в 1837 г. (рисунок 4-а, б), находим в работе инженер-майора Бутенева Н.Ф. «Геогностические замечания на путешествие из С. Петербурга в Олонецкую и Архангельскую губернии» [1].

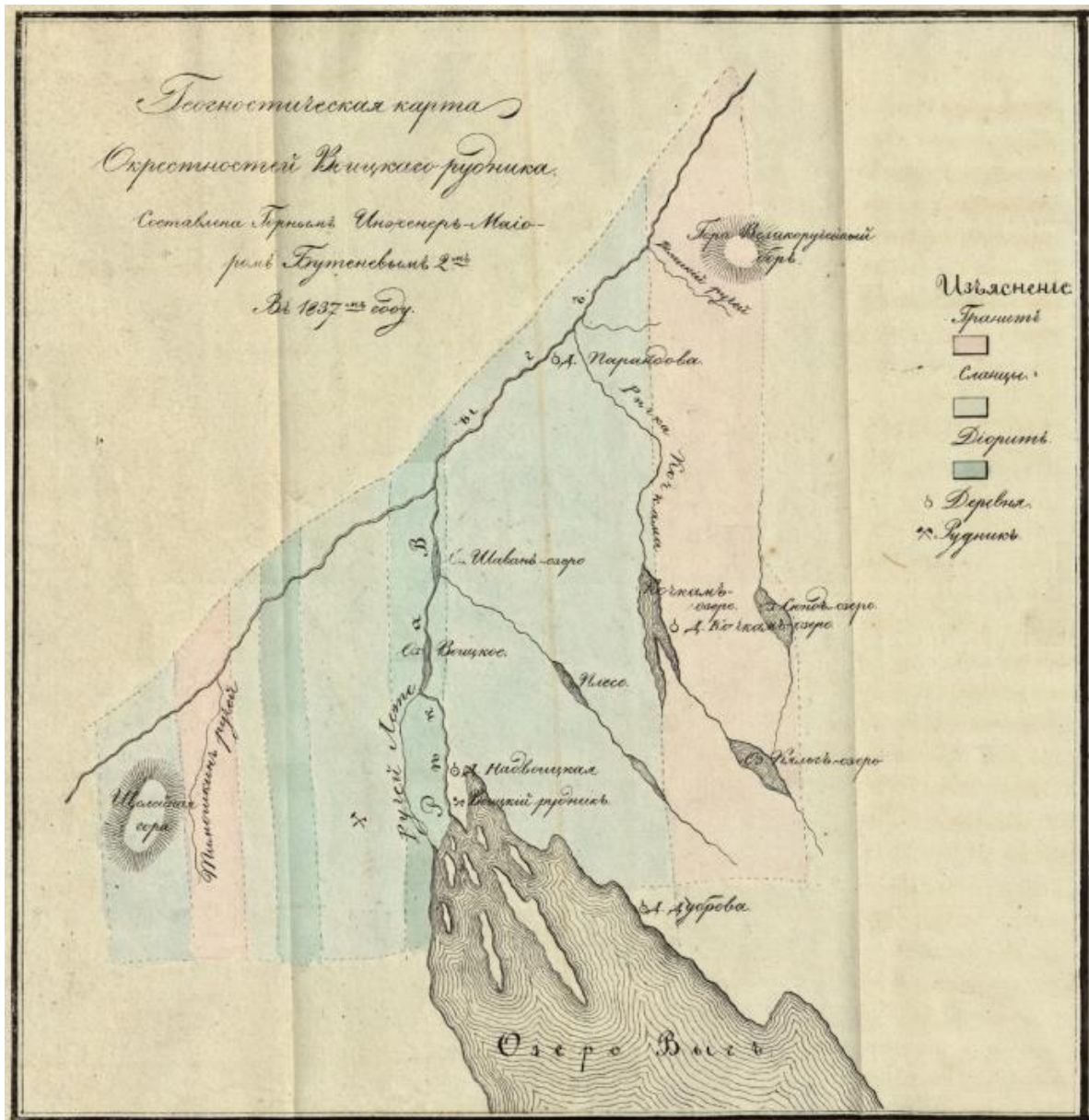
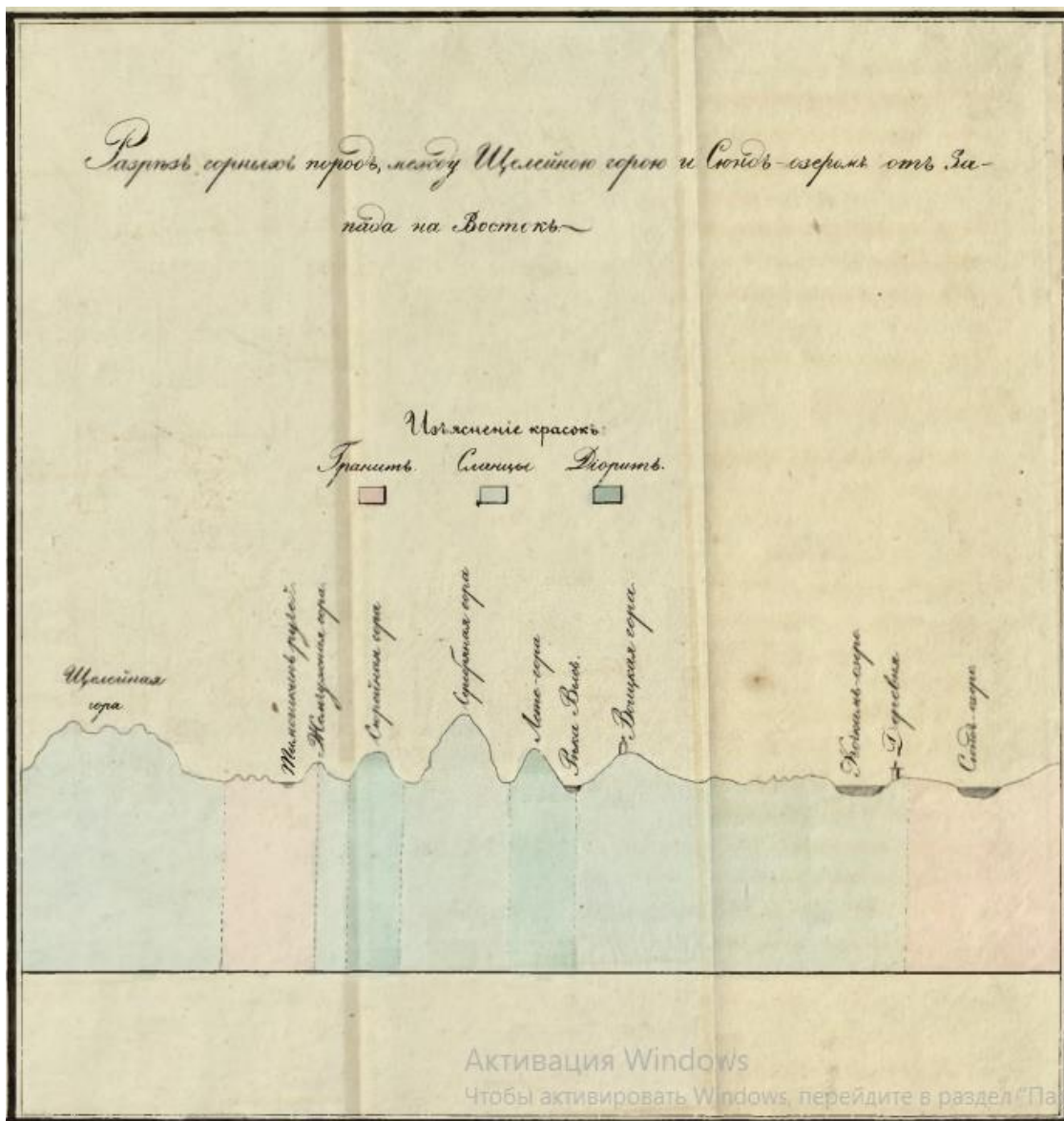


Рисунок 4-а.

Эти карты позволяют довольно однозначно определить положение отдельных возвышенностей и названия ручьев в окрестностях Воицкого рудника в субширотном разрезе, в т.ч. положение Серебряной горы. Кроме того, на плане показано примерное положение одного из рудников на этой горе. Серебряная гора на карте Бутенева А.Ф., в отличие от плана к работе Озерецковского, отделена от Воицкой горы Лете-горой, что вносит путаницу и разночтения в установление точной восточной границы Серебряной горы. К сожалению, и на сегодняшний день нет ни одного источника, где были бы указаны границы всех названных гор.



4-Б

Рисунок 4 (А, Б). Скан из статьи Бутенева А.Ф. «Геогностические замечания на путешествие из С. Петербурга в Олонецкую и Архангельскую губернии» [1, стр. 545].

Позднее, в 1871 г., дополнительные сведения о геологическом строении и рудоносности территории приводит А.А. Иностранцев [8, 9]. В своих работах он подтверждает положение Серебряной горы по левобережью реки Выг и Воицкого озера и уточняет геологическое строение территории, используя как основу более ранние топографические данные Бутенева Н.Ф. (рисунок 5). Иностранцев разделяет породы, слагающие территорию, на три группы – хлоритовые, тальковые и слюдястые сланцы.

Некоторые данные, в том числе включающие описания предыдущих исследователей, о рудниках, расположенных на склонах Серебряной горы, можно найти в Материалах статистико-экономического описания Олонецкого края 1910 г. [16] (рисунок 6) и в Справке о Воицком и Серебряногорском рудниках 1919 г. [24].

Согласно данным геологической съемки масштаба 1:200 000, выполненной в 1961 г. [5], месторождение Воицкое приурочено к толще нижнепротерозойских кварцито-песчаников ятулийского надгоризонта летнеозерской свиты.

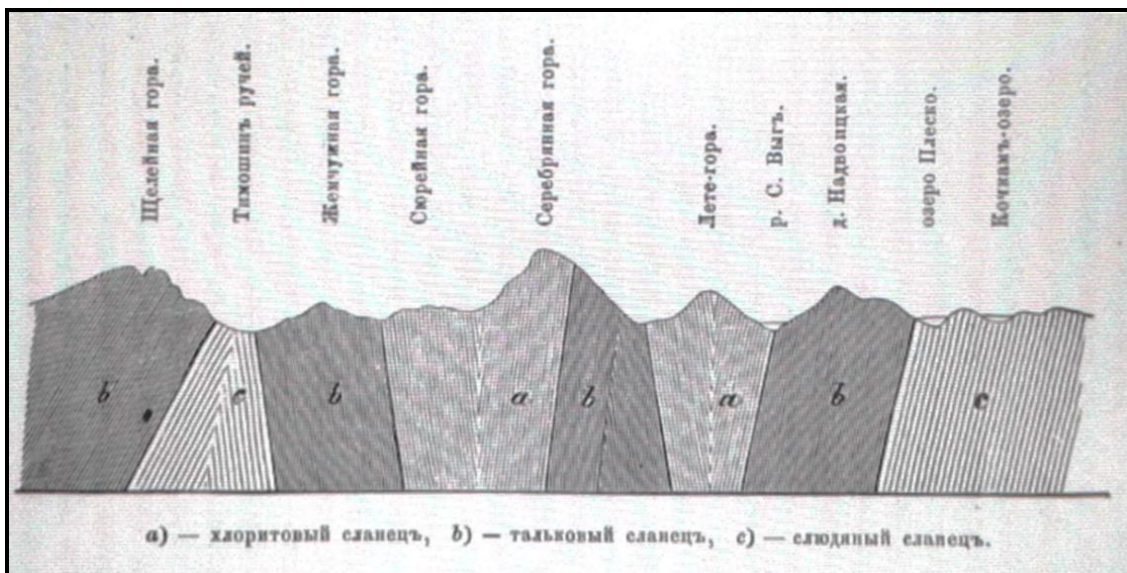


Рисунок 5. Скан из книги «Геологический обзор местности между Белым морем и Онежским озером» [8, стр. 31].

Въ Повѣнецкомъ-же уѣздѣ находится и другое значительное мѣсторождение мѣдныхъ рудъ въ окрестности д. *Надвоицъ*, по лѣвому берегу р. С. Выгъ, который принадлежитъ Олонцкой губ. (сама д. *Надвоицъ*—Архангельской губ.). Въ 2 в. на з. отъ истока р. С. Выгъ среди ряда возвышенностей выступаетъ гора *Серебряная*, сложенная изъ плотнаго діорита, имѣющаго варіолитовый характеръ; пласты породы, круто поставлены по отношенію къ горизонту, и простираются съ с.-с.-в. на ю.-ю.-з. подъ угломъ въ 25°.

Въ породахъ *Серебряной* горы существуетъ нѣсколько старинныхъ рудниковъ, въ которыхъ выработывались мѣдныя руды; первая крупная разработка заложена въ сильно трещиноватой породѣ съ жилами и неправильной формы выдѣленіями известковаго шпата въ которыхъ вкраплены мѣдный колчеданъ, вмѣстѣ съ кристалликами магнитнаго желѣзника и листочками желѣзнаго блеска. На стѣнкахъ трещинъ діоритовой породы встрѣчаются бѣлая прожилка полевошпатоваго минерала, который въ свободной трещинѣ образуетъ друзы прекрасно образованныхъ кристалловъ альбита, снаружи покрытыя буроваточерными налетомъ. Друзы альбита встрѣчаются и совмѣстно съ выполняющими трещины известковымъ шпатою и кварцемъ. Въ 20 саж. къ с. находится вторая яма, меньшихъ размѣровъ; здѣсь та-же порода съ прожилками кварца, известковаго шпата, содержитъ мѣдныя колчеданъ въ болѣе крупныхъ выдѣленіяхъ; далѣе къ с. въ 50 сж. шурфомъ обнаружена такая-же діоритовая болѣе плотная порода въ 1/2 в. отъ нея у избы шурфъ, залитый водою съ той-же породой и мѣдной рудой; собранныя здѣсь въ кучу отобранныя куски мѣднаго колчедана достигаютъ величины кулака.

По частнымъ свѣдѣніямъ ¹⁾ къ з. отъ р. С. Выгъ, въ области развития діоритовъ найдены въ этихъ породахъ богатая жила съ мѣднымъ колчеданомъ, а въ одну мѣстѣ жила молибденоваго блеска съ небольшою примѣсью серебра.

Вообще мѣстность къ з. отъ истока рѣки С. Выгъ въ части входящей въ составъ Олонцкой губ. обращаетъ на себя особенное вниманіе по своей вѣроятной рудоносности.

У самого уровня воды на лѣвомъ берегу р. С. Выга противъ *Надвоицкой* начинаютъ обнаруживаться хлоритовые сланцы, далѣе діориты, слагающіе *Летегору*, вытѣснутую съ с. на ю. Отъ нея поднимаются указанные на рис. 2 возвышенности, сложенные перемежающимися складками тальковыхъ, хлоритовыхъ и слюдяныхъ сланцевъ. Тальковые сланцы по направленію къ з. сильно кварцеваты и прорѣзываются кварцевыми жилами; порода къ западу отъ *Тихошина* ручья простирается съ с.-с.-з. на ю.-ю.-в. и прорѣзывается изрѣсть простиранія кварцевыми жилами, т. е. имѣетъ тотъ-же характеръ залеганія, какъ и тождественныя сланцы д. *Надвоицкой*, гдѣ жила кварца содержала въ изобиліи мѣдныя руды, также самородную мѣдь и золото, служившіе предметомъ добычи въ XVIII ст.

Руда съ *Серебряной* горы по анализамъ лабораторіи Министерства Финансовъ ²⁾ содержитъ:

1)	Cu	—	27,93%	11,78%	оксида Mn и Zn
2)	.	.	60,26%	въ 1 пд. руды	Ag — 1 з. 56 з.
3)	.	.	37,80%		

¹⁾ Гор. Ж. 1909 г. т. II, работы Лаб. Мин. Фин.
²⁾ А. А. Любимовъ, Геол. обзоръ мѣст. между Бѣл. м. и Он. оз. СПб 1871, стр. 55.
³⁾ Горный Журналъ 1900 г. т. II.

Рисунок 6. Скан из книги «Материалы по статистико-экономическому описанию Олонцкаго края». [16, стр. 90-91].

На карте полезныхъ ископаемыхъ района кроме *Воицкого* месторождения в поляхъ развития *летнеозерской*, *тунгудской* и *идельской* свитъ указаны проявленія железныхъ, медныхъ и свинцово-цинковыхъ руд, а также пункты минерализации селена, висмута, вольфрама, иттрия.

В ходе геолого-съёмочных работ и описания проявлений нигде не отмечены тальковые сланцы и диориты, которые ранее, скорее всего, были так квалифицированы ошибочно. Мусковит, являющийся, как и тальк, слоистым силикатом и порообразующим минералом филлитовидных сланцев (тем более в широко развитых на рассматриваемой площади зонах развития милонитизации, где он преобразован в тонкочешуйчатый серицит, гидрослюды и возможно монтмориллонит), мог долгое время называться тальком, а особая структура метадиабазов, мандельштейнов и альбитофиринов и кератофиринов привели исследователей XVIII-XIX вв. к тому, что они называли эти сильно метаморфизованные эффузивные породы диоритами.

Вполне вероятно предположить, что серебристый цвет слюд мог повлиять для названия горы, а свинцово-цинковое проявление (№8 на карте) также могло быть ранее принято по ошибке за серебряное. На данный момент выходы на поверхность свинцово-цинкового оруденения невозможно увидеть и дополнительно изучить, поскольку в 1982 г. при строительстве цеха порошковой металлургии при Надвоицком алюминиевом заводе [2] была произведена планировка территории, коренные выходы над проявлением засыпаны привозным грунтом и застроены. Серебристый цвет имеет также молибденит, который в небольших количествах обнаруживался в сочетании с золотыми, медными и полиметаллическими рудами на всех этапах изучения территории.

В XX веке к теме рудоносности территории обращались еще неоднократно [3, 6, 11]. Она подтверждена в непромышленных масштабах, но в перечне значимых серебрянорудных объектов минерально-сырьевой базы Карелии территория, прилегающая к Воицкому руднику, не значится.

Исследования территории на предмет поисков золота продолжаются и в XXI веке, имеется несколько действующих лицензий на недропользование, одна из площадей называется «Надвоицы».

23 сентября 2000 г. на полуострове Марфин Наволок был установлен памятник – мемориальная доска, посвященная Воицкому руднику, который оставил значимый след в истории горного дела Карелии и причислен историческим [19] и к производственным памятникам Карелии [15].

Спустя 22 года после установки знака надпись на табличке почти стерлась и не читается, а «раны», нанесенные горными работами на территории самого рудника мудрая природа неустанно залечивает, создавая на поверхности естественный ландшафт. Основная шахта в виде щели в скальной породе уходит под воды Беломоро-Балтийского канала, большая её часть скрыта под водой. Следы старых штолен, шахт, канав, шурфов еще угадываются и по ним можно отследить направления отработки жилы.

В дополнение к знаменитому руднику, расположенному на Воицкой горе, на склонах Серебряной горы сохранились следы выработок XVIII-XIX вв. со следами отработки медной и железной руды, которые вместе с Воицким рудником могли бы стать интереснейшим туристическим объектом горно-геологического наследия Республики Карелия. В этих выработках и на их отвалах, сосредоточенных на небольшой по своей площади территории в сложной геологической структуре, обрамляющей Воицкое озеро, и сегодня можно отыскать образцы медных, железных, полиметаллических и золотых руд.

Что же касается самородного серебра, которое использовалось в XVIII в. для изготовления монет, то логичнее всего предположить, что оно добывалось и доставлялось в монастыри с других мест, в том числе с берегов и островов Кандалакшского залива Белого моря (острова Медвежий, Хедостров и Бол. Седловатый, и по побережью губ Педуниха, Порья и Белозерской), где уже в XVI-XIX вв. действовали свинцово-серебряные рудники. Это были первые горнорудные предприятия Кольского края и первые серебряные рудники России. В настоящее время найдены остатки 18-ти шахт. Ныне все они затоплены и сильно разрушены [17].

Несомненно, что у гномов с герба поселка Надвоицы всегда была, есть и останется работа, даже если «Серебряная гора», на которой они изображены, названа так по стечению

случайных обстоятельств и в силу сложного геологического строения местности, для изучения рудоносности которой и сегодня ведутся дополнительные исследования. Горно-геологические памятники, одним из которых является Воицкий рудник, вместе с выработками, расположенными на Серебряной горе, представляют собой важный ресурс социальной и экономической значимости, который может привлечь культурный туризм и сформировать важное звено для понимания геологии и истории региона. Первоначально предложение по этой теме было сделано в 2014 г. Лавровым О.Б. на VIII Международной научно-практической конференции «История техники и горное дело» [12]. Несомненно, что изучение и сохранение объектов горно-геологического наследия Карелии обогатит новыми существенными данными историю одного из красивейших регионов нашей страны. Опыт горного парка Рускеала показывает, что подобные исторические места могут привлекать ежегодно тысячи туристов.

Библиографический список

1. Бутенёв К.Ф. Геогностические замечания на путешествие из С. Петербурга в Олонецкую и Архангельскую губернии. // Горный журнал. 1837 г. Часть 4. Кн.12.
2. Вакулин А.Б. и др. Надвоицкий алюминиевый завод. – Петрозаводск: Изд. «Скандинавия», 2004 г.
3. «Вестник Мурмана» (1923 г. № 8; 1925 г. №6).
4. Генералов М.Е. Первое рудное золото России в коллекции минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. // Минералогический альманах. Том 19, вып. 3, 2014 г.
5. Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000, Лист Р-36-V. Карта и объяснительная записка. – М.: Изд. «Недра», 1968 г.
6. Горошко А.Ф. Отчет по теме: Предварительная оценка перспектив золотоносности древних зеленокаменных поясов Карелии, составление карты прогноза масштаба 1:500 000 с картами врезками масштаба 1:200 000 - 1:50 000 для наиболее перспективных территорий. Листы Q-35, 36: Р-35, 36, 37.
7. Граматчиков А.Ф. Геостатическое обозрение Воицкого рудника и окрестностей оного горной экспедицией. // Горный журнал. 1828 г. Т.1. Кн.1. – С. 19-38.
8. Иностранцев А.А. Геологический обзор местности между Белым морем и Онежским озером. – СПб: Тип. В. Демакова, 1871 г.
9. Иностранцев А.А. Геологический очерк Повенецкого уезда Олонецкой губернии и его рудных месторождений. – СПб.: Типография императорской академии наук, 1877 г.
10. История Выговской старообрядческой пустыни. Изд. По рукописи И. Филипова. – СПб., 1862 г.
11. Кулешевич Л.В., Лавров О.Б. История открытия и минералогия Воицкого рудника (Карелия) // Записки РМО. 2012 г. Часть 141, Вып. 5. – С. 59-67.
12. Лавров О.Б. Старинные медные рудники – объекты историко-культурного наследия Карелии // Материалы VIII Международной научно-практической конференции. 2–4 декабря 2014 года. История техники и музейное дело. Вып. 7. – Москва, 2015 г.
13. Левитский А. «Возобновлять ли разработки золота и меди в Карело-Мурманском крае». «Карело-Мурманский край», 1928 г. № 8.
14. Майер Г. Воицкий рудник. Горный журнал. 1907 г. Т. 1, кн. 3. – С. 277-281.
15. Макарихин В.В. и др. Геологические памятники природы Карелии. – Петрозаводск. 2007 г.
16. Материалы по статистико-экономическому описанию Олонецкого края. Изд. Олонецкого губернского земства. – СПб., 1919 г.
17. Минералы и месторождения России и стран ближнего зарубежья/ <https://webmineral.ru/deposits/item.php?id=512>.
18. Озерецковский Н.Я. Путешествия по озерам Ладожскому и Онежскому. – Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1989 г. – С. 154-164.
19. Паспорт памятника истории и культуры «Рудник Воицкий медный». Министерство культуры СССР, 1885 г.
20. План положения места около Воицкого золотистого рудника, состоящего в Олонецком уезде/ https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_RU_NLR_DIGIT_30212/
21. Поморцева Л.Л. О Воицком руднике/ <https://www.liveinternet.ru/users/lampi/post156767021>.
22. Решение совета от 23.01.2014 г. № 26 «Об утверждении официальных символов Надвоицкого городского поселения»/ <http://nadvoitsy-adm.ru>.
23. Севергин В.М. Опыт минералогического землеописания российского государства. Часть 1. – СПб., 1809 г.
24. Соколов В.И. Справка о Воицком и Серебряногорском рудниках. Известия геологического комитета. 1923 г. Т. 38. № 2. – С. 12-15.
25. Челищев П.И. Путешествие по Северу России в 1791 г. Дневник. – С-Пб., 1886 г.

Стратовулкан Титовская Сопка как комплексный памятник природы и древней истории в пределах г. Чита

Юргенсон Г.А.¹, Мороз П.В.², Корсун О.В.¹

¹Институт природных ресурсов, экологии и криологии
СО РАН, Чита, Россия, yurgga@mail.ru, olegkorsun@mail.ru

²Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, frostius.81@mail.ru

Аннотация. Впервые дано комплексное описание геологического строения, биоты и археологических памятников горного массива Титовская Сопка в пределах города Читы в Забайкальском крае. Дано краткое описание стратовулкана триасового возраста и слагающих его вулканических лав. Описаны биоценозы, включая сообщества растений и животных, населяющих территорию, особо выделены краснокнижные виды. Дана информация об археологических памятниках палеолита и мастерских, которые находятся непосредственно на геологических телах, сложенных минеральным сырьем для изготовления орудий, а также их пространственном их расположении. Показано, что основным сырьем для производства каменных орудий палеолита были роговики, ороговикованные вулканиды и метаморфизованные милониты. Обоснована идея придания Титовской Сопке статуса особо охраняемой природной территории (учебно-научного стационара).

Ключевые слова: Титовская Сопка, стратовулкан, растения, животные, Сухотинский георхеологический комплекс, Чита, Забайкальский край.

Stratovolcano Titovskaya Sopka as a complex monument of nature and ancient history within the city of Chita

Yurgenson G.A.¹, Moroz P.V.², Korsun O.V.¹

¹Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology,
SB RAS, Chita, Russia, yurgga@mail.ru

²Zabaikalsky State University, Chita, Russia, frostius.81@mail.ru

Abstract. For the first time, a comprehensive description of the geological structure, biota and archaeological sites of the Titovskaya Sopka mountain range within the city of Chita in the Trans-Baikal Territory is given. A brief description of the Triassic stratovolcano and its constituent volcanic lavas is given. Biocenoses are described, including communities of plants and animals inhabiting the territory, the Red Data Book species are highlighted. Information is given about the archaeological sites of the Paleolithic and workshops and their spatial location, which are located directly on the geological bodies, composed of mineral raw materials for the manufacture of tools. It is shown that hornfelses, hornfelsed volcanics and metamorphosed mylonites were the main raw materials for the production of stone tools of the Paleolithic. The idea specially protected natural area of giving Titovskaya Sopka the status of a protected area and an educational and scientific hospital is substantiated.

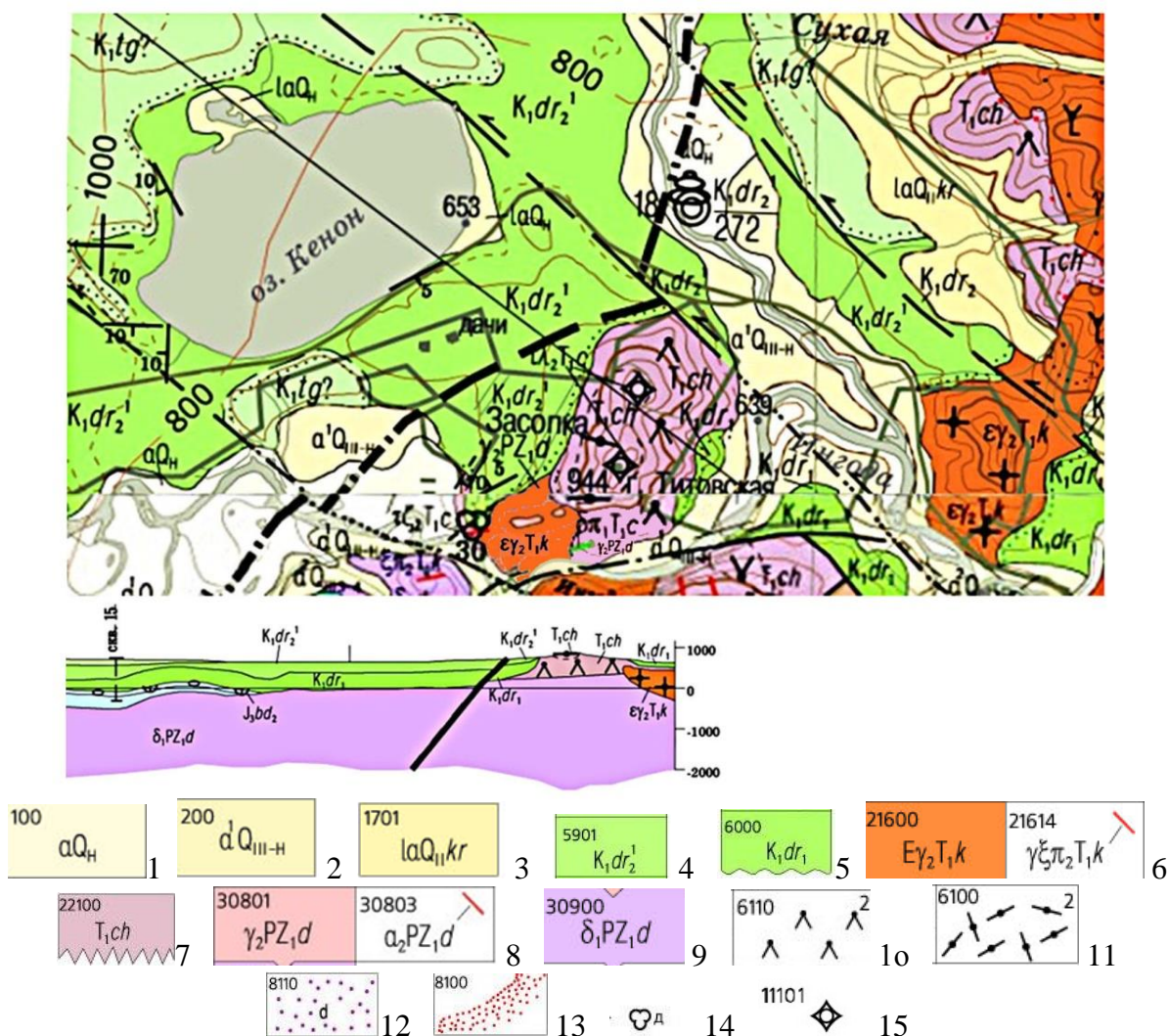
Keywords: Titovskaya Sopka, stratovolcano, Red Data Book biota, Sukhota geoarchaeological complex, Chita, Zabaikalsky Krai; Titovskaya Sopka, stratovolcano, Red Data Book biota, Sukhota geoarchaeological complex, Chita, Zabaikalsky Krai/

Введение. Титовская Сопка представляет собой среднегорный массив на юго-западной окраине г. Читы и является природно-исторической территорией, которая была местом пребывания человека со времен раннего палеолита до современности.

Особенности геологического строения. Титовская Сопка представляет собой нижнюю, глубинную часть стратовулкана раннетриасового возраста, вулканогенные образования которого прорывают граниты джидинского интрузивного комплекса палеозойского возраста. Лавовые потоки этого стратовулкана налегают на граниты джидинского комплекса и относятся к цаган-хунтейской свите. Она сложена андезитовыми порфиридами, их кластолавами, лавами, ксенокластовыми лавами порфиров и кварцевых порфиров, трахиандезитов и трахитов. Все эти разновидности вулканидов в определённой последовательности залегают только в пределах горы Титовской [7]. Геологическое строение территории Титовского горного массива представлено на рисунке 1.

Абсолютный возраст вулканидов горы Титовской находится в пределах 260-240 млн лет, что вполне определённо указывает на их формирование в триасовый период. Результаты определения абсолютного возраста кварцевых порфиров из верховий р. Кадала по данным Безверхнего и Звонковой (1964 г., стр. 76) показали возраст 214 млн лет. Эти данные

определения абсолютного возраста дают основание считать процесс формирования вулканитов, которые слагают Титовскую Сопку и прилегающие территории в пределах г. Читы, длившимся с поздней перми до триаса включительно.



1-3: антропоген: 1 – аллювий пойм; 2 – верхнее звено. Голоцен. Аллювиальные отложения; 3 – среднее звено. Селенгинский Усть-Киранский горизонт. Криворская свита. Озерно-аллювиальные отложения; 4-5: меловые отложения, доронинская свита: 4 – верхняя подсвита, нижняя пачка, аргиллиты, алевролиты, песчаники; 5 – нижняя подсвита, конгломераты, фангломераты, гравелиты; 6 – куналейский комплекс щелочных гранитов и сиенитов: вторая фаза, умеренно-щелочные граниты и дайки граносиенит-порфиров; 7 – цаган-хунтейская свита триаса. Лавы, ксенокластолавы трахиандезитов, трахидацитов, трахириолитов, трахибазальтов, андезитов, дацитов, андезибазальтов, туфы, туфобрекчии и др.; 8-9: дждинский интрузивный комплекс палеозоя: 8 – граниты, лейкограниты, дайки гранитов, аплитов второй фазы; 9 – диориты и кварцевые диориты, грандиориты первой фазы. 10 – трахидациты; 11 – трахириолиты; 12 – диафторированные породы; 13 – роговики над нескрытыми интрузивами; 14 – место сбора проб пыли; 15 – внемасштабные экструзивные и жерловые тела и номера точек их описания при съемке.

Рисунок 1. Геологическая карта Титовской Сопки.

Стратовулкан непосредственно в пределах Титовского горного массива в обобщённом виде сложен потоками лав (снизу вверх) базальтов, андезитов, трахиандезитов, трахидацитов, трахириолитов и трахитов. Мощность потоков варьирует от 20 до 100 м, их видимая ширина составляет порядка 100-200 м. Базальты образуют горизонты мощностью до 20 м при видимой обнажающейся ширине до 20-30 м (рисунок 2).



Рисунок 2. Переслаивание лав различного состава.

Для потоков лав характерна почти вертикальная флюидальность (рисунки 3, 4), свидетельствующая о движении лавы снизу вверх. Нередко они образуют экструзии граносиенит-порфиров, хорошо выделяющиеся в рельефе в виде островерхих выступов.



Рисунок 3. Субвертикальные застывшие потоки лав различного состава.

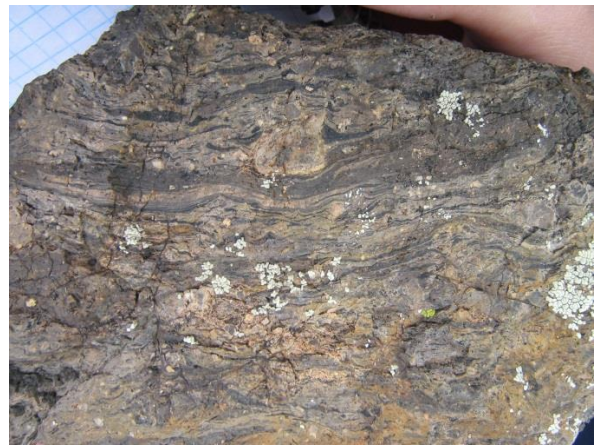


Рисунок 4. Флюидальная макротекстура лавового потока.

В южной части склона Титовской Сопки среди потоков чёрных базальтовых лав находится дайка пегматита и выход сиенит-порфира, являющийся некком. Подобный некк находится и напротив смотровой площадки в карьере, из которого добывали горные породы для производства щебня во время строительства шоссе вдоль Сибирского тракта. В левом борту распадка Логовой вскрыты трахибазальты с некком сиенит-порфиров.



Рисунок 5. Кластолава, образовавшаяся в результате цементирования поздним потоком лавы обломков раннего потока, передробленной в результате взрывных процессов.

На северных отрогах Титовской Сопки на дневную поверхность выходят кластолавы трахитов, содержащих массивные пепловые туфы (рисунок 5). В юго-западной части горного

массива в крутом распадке вверх от р. Ингода находится контакт палеозойских лейкократовых гранитов и налегающих на них трахитовых лав Титовского стратовулкана, слагающих цаган-хунтейскую свиту.

Растительный и животный мир. Одной из главных достопримечательностей Титовской Сопки является разнообразие её природных сообществ. Возвышаясь над городом на высоту почти 300 м, данный горный массив формирует склоны различной экспозиции, ущелья, овраги и другие мезоформы рельефа. Разнообразие условий инсоляции и увлажнения обеспечивает высокое видовое разнообразие флоры и фауны.

В пределах горного массива представлены различные типы лесных и лесостепных сообществ. Южные и юго-восточные склоны частично заняты старовозрастными сосновыми лесами, общая площадь которых составляет около 200 га. На восточном склоне сохранились участки берёзовых и смешанных (с участием сосны и осины) лесов. В долине р. Ингода, охватывающей южную часть Титовской Сопки, располагаются ленточные участки тополевых и тополево-сосновых лесов, заросли приречных кустарников – ивы, черёмухи, боярышника, свиды, отмечены отдельные растения чозения толокнянколистной (*Chosenia arbutifolia*). Пологие остепнённые склоны горного массива заняты ильмовниками – преимущественно небольшими разреженными рощицами ильма приземистого (*Ulmus pumila*).

Обращённые к городу северные, северо-западные и, в меньшей степени, восточные склоны Титовской Сопки в XX в. искусственно засаживались древесно-кустарниковыми породами. К настоящему времени сохранилась часть этих насаждений, представленных засухоустойчивыми видами – тополем сибирским (*Populus ×sibirica*), абрикосом сибирским (*Prunus sibirica*), ильмом приземистым и караганой древовидной (*Caragana arborescens*).

Большая часть территории горного массива занята горностепными сообществами с доминированием различных видов злаков – колосняка (востреца) китайского (*Leymus chinensis*), тонконога гребенчатого (*Koeleria cristata*) и др. По каменистым вершинам сопки обычны полидоминантные полукустарничково-низкоразнотравные степи. Ложбины и склоновые депрессии часто заняты кустарниковыми зарослями с участием спиреи водосборолистной (*Spiraea aquilegifolia*) и кизильника черноплодного (*Cotoneaster melanocarpus*). Местами, главным образом, под скальными выступами и по крутым склонам ущелий преобладает ильм крупноплодный (*Ulmus macrocarpa*). По пологим северным и западным склонам горного массива обычна спирея средняя (*Spiraea media*). В нижних частях остепнённых склонов и по опушкам нередки кустарниковые ивы, преимущественно ива Бебба (*Salix bebbiana*).

По остепнённым западным склонам Титовской Сопки отмечаются заросли рододендрона даурского (*Rhododendron dauricum*), который обычно формирует кустарниковый ярус в сообществах хвойных и смешанных лесов. Произрастание рододендрона в составе степных сообществ, вероятно, связано с горячими местами сосняков, погибших в результате весенних палов.

Степные сообщества особенно живописны во второй половине весны и в начале лета за счёт большого количества раннецветущих растений, таких как арктогерон злаковый (*Arctogeron gramineum*), проломник седой (*Androsace incana*), прострелы Турчанинова (*Pulsatilla turczaninowii*) и многораздельный (*P. multifida*), касатики одноцветковый (*Iris uniflora*) и низкий (*I. humilis*), стеллера карликовая (*Stellera chamaejasme*), мытник краснеющий (*Pedicularis rubens*), красоднев малый (*Hemerocallis minor*), спирея водосборолистная, абрикос сибирский.

Для Титовской Сопки отмечено произрастание не менее 8 видов, занесённых в Красную книгу Забайкальского края: красоднев малый, лилия даурская (пенсильванская) (*Lilium pensylvanicum*), лилия карликовая (*Lilium pumilum*), абрикос сибирский, шлемник байкальский (*Scutellaria baicalensis*), вздутоплодник сибирский (*Phlojodicarpus sibiricus*), сапожниковия растопыренная (*Saposhnikovia divaricata*), молочай Каро (*Euphorbia karoi*). Во второй половине XX в. здесь также отмечались популяции таких краснокнижных видов как молочай Фишера (*Euphorbia fischeriana*) и луносемянник даурский (*Menispermum dauricum*), вероятно, полностью исчезнувшие на данной территории к настоящему времени.

Следствием разнообразия растительных сообществ является богатство фауны данной территории. На Титовской Сопке отмечено значительное число видов беспозвоночных животных, а также птиц, среди которых есть лесные, степные и околородные виды. С лесной растительностью связаны несколько видов дятлов – большой пёстрый (*Dendrocopos major*), малый пёстрый (*Dryobates minor*), желна (*Dryocopus martius*), а также пятнистый конёк (*Anthus hodgsoni*), длиннохвостая синица (*Aegithalos caudatus*), большая синица (*Parus major*), буроголовая гаичка (*Poecile montanus*), обыкновенный поползень (*Sitta europaea*), белошапочная овсянка (*Emberiza leucocephala*). В степных сообществах обычны полевой жаворонок (*Alauda arvensis*) и обыкновенная каменка (*Oenanthe oenanthe*). В зимнее время на склонах Титовской Сопки и по берегам р. Ингода можно встретить кочующие стайки сибирских вьюрков (*Leucosticte arctoa*), красноухих овсянок (*Emberiza cioides*), длиннохвостых чечевиц (*Carpodacus sibiricus*), белых лазоревок (*Cyanistes cyanus*), обыкновенных чечёток (*Acanthis flammea*). У вершины горного массива нередко встречи воронов (*Corvus corax*). В кустарниковых зарослях по берегам Ингоды гнездятся голубые сороки (*Cyanopica cyana*). К антропогенным ландшафтам тяготеют чёрные вороны (*Corvus corone*) и обыкновенные сороки (*Pica pica*).

Фауна млекопитающих Титовской Сопки включает такие виды как сибирская косуля, азиатский барсук (*Meles leucurus*), обыкновенная лисица (*Vulpes vulpes*), заяц-русак (*Lepus europaeus*), длиннохвостый суслик (*Urocitellus undulatus*).

Памятники каменного века. Титовская Сопка имеет высокое историко-культурное значение ввиду того, что с её склонами связан Сухотинский георхеологический комплекс, включающий в себя порядка двадцати различных объектов археологического наследия, начиная со среднего палеолита [5]. Это, прежде всего, могильники железного века, исследованные археологами во второй половине XX в. Но наибольшую значимость имеют частично раскопанные стоянки, поселения и мастерские каменного века, составляющие основу Сухотинского георхеологического комплекса (рисунок 6).



Рисунок 6. Карта размещения археологических памятников.

Памятники каменного века Титовской Сопки известны в научной среде уже более века. Первые подъёмные сборы археологического материала были выполнены основателем и директором Читинского краеведческого музея А.К. Кузнецовым и научным сотрудником

музея А.И. Махаловым. Первые раскопки на склонах этого палеовулкана произвел Е.И. Титов в 1924 г. [1, с. 186], что можно считать достоверной датой начала полноценных археологических исследований на данной территории. Второй, наиболее существенный, этап изучения археологии Титовской Сопки связан с деятельностью А.П. Окладникова, И.И. Кириллова, С.Н. Астахова, Е.В. Ковычева и М.В. Константинова.

В 1960–1980-х гг. были открыты и в разной степени изучены десятки объектов, в том числе уникальные памятники каменного века, в настоящее время включённые в состав Сухотинского археологического комплекса. Начиная с 1959 г., в ходе этого этапа работ, включавшего шурфовки, была открыта мастерская каменного века «Титовская Сопка», ныне также известная как мастерская им. А.П. Окладникова.

В 400 м к северу от неё находится стоянка-мастерская «Скальная». Этот памятник связан с высоким бортом мощного лога, в древности сформированным лавовыми потоками, которые образовали наклонную поверхность. Лог прорезает восточный склон Титовской Сопки с высотными отметками с севера на юг 835-825 м. Стоянка-мастерская ограничена с юга подпорным скальником, что дало возможность удерживать обломочный материал и артефакты, спускавшиеся с верхних уровней склона. Это наиболее высоко расположенный археологический памятник из известных в настоящее время на Титовской Сопке. Материалы культурного слоя, связанного с первым литологическим слоем, претерпели значительное (по всей видимости, первый десяток метров) смещение с верхних уровней, что привело к перемешиванию артефактов первого культурного слоя. Поэтому его следует рассматривать как единый смешанный комплекс.

Объект «Скальная» представляет собой стоянку-мастерскую. Подобный тип памятников широко известен в Восточном Забайкалье. Они, как правило, представлены отдельными площадками, содержащими не продукты расщепления заготовок, а сколы подправки и доводки каменных орудий в виде мелких чешуек и сколов.

Минеральное сырьё, применявшееся для расщепления на этом памятнике, отличается от распространённого на Титовской Сопке роговика чёрного оттенка. Сырьё имеет зеленовато-синий оттенок и тонкозернистую слоистую текстуру, близкую к роговикам, и представляет собой милонит, ранее не фиксировавшийся на памятниках Титовской Сопки. Источник этого сырья, выходы которого обнажены современным карьером, расположен в 400 м от стоянки-мастерской.

Вторая крупная мастерская каменного века на склонах Титовской Сопки находится в противоположной части палеовулкана в урочище Сухотино и связана с именем И.И. Кириллова. Этот объект описывается в его научном отчете за 1978 г. как пункт сбора многочисленного подъёмного материала. В настоящее время этот памятник известен как Сухотинская мастерская, или Сухотино-12. Последнее название предложено в ходе исследований, проведённых М.В. Константиновым и Е.А. Филатовым [2]. Данные рекогносцировочные работы проводились с 2012 г. В процессе работ в 2013 г. Е.А. Филатовым был заложен шурф в северо-западной части Сухотинской мастерской [8]. В ходе раскопок было пройдено порядка двух метров отложений и получена коллекция из более чем 12 000 каменных изделий [8, с. 35], происходящих из пяти пачек рыхлых отложений. Нижняя пачка отложений, содержащая пятый культурный слой, отнесена к зырянскому времени.

Исследования Сухотинской мастерской были продолжены в 2019 г. одним из авторов данной работы [3]. Была выполнена прирезка к шурфу 2013 г. площадью 2 м² и пройдены пять пачек рыхлых отложений вплоть до скального цоколя. В ходе работ было выявлено 3513 артефактов.

В 2021 г. в непосредственной близости от него найдена новая мастерская каменного века [6]. Данный объект культурного наследия представляет собой полностью новый, ранее неизвестный объект на Титовской Сопке. В ходе изучения выхода роговиков, на которых расположена Сухотинская мастерская, удалось выявить новую мастерскую каменного века. Археологический материал из темноцветных роговиков – основного сырья Титовской Сопки – выявлен на 100-120 м севернее и 20-25 м выше мастерской «Титовская Сопка» в урочище Сухотино. Объект приурочен к зоне роговика и является классической мастерской на выходе сырья. Ввиду значительного вклада выдающегося русского археолога С.Н. Астахова в

изучение Титовской Сопки было предложено присвоить данному объекту культурного наследия номенклатурное название «Мастерская им. С.Н. Астахова».

Почему же на склонах Титовской Сопки такая концентрация разнотипных памятников каменного века? По всей видимости, это разнообразие горных пород в памятниках Титовской Сопки [4] напрямую связано с их шаговой доступностью. Древний палеовулкан выступал для человека своего рода сырьевым «хабом», дававшим доступ к технологичному сырью высокого качества, что и объясняет подобную концентрацию этих объектов археологического наследия на его склонах и в непосредственной близости.

С Титовской Сопкой связаны и более поздние памятники – наскальные рисунки и погребения от эпохи бронзы до средневековья, а также русское поселение Засопошное, которое было населено с конца XVII в. по 1-ю половину XIX в. Несколько памятников и культовых объектов было воздвигнуто на склонах Титовской Сопки уже в XX-XXI вв.

Таким образом, Титовская Сопка, располагаясь преимущественно в черте г. Читы, представляет собой природно-исторический объект, который может являться ценным ресурсом как для продолжения научных исследований и проведения учебных студенческих практик, так и для развития научного и экологического туризма. Наряду с ценными историческими памятниками, значительный потенциал имеет организация и обустройство пешеходных маршрутов, которые будут привязаны к живописным скальным обнажениям (Сухотинский утёс), либо к эстетически привлекательным растительным сообществам. Среди последних наибольшее значение могут иметь сохранившие старовозрастные сосновые леса, живописные в период цветения урочища с абрикосом сибирским, рододендром даурским, спиреей водосборолистной, а также участки полидоминантных степей, включающие большое количество красивоцветущих растений.

В 2023 г. сотрудниками ИПРЭК СО РАН начата работа по подготовке эколого-экономического обоснования создания на Титовской Сопке особо охраняемой природной территории (ООПТ). В соответствии с Законом Забайкальского края от 9 марта 2010 года N 338-ЗЗК «Об особо охраняемых природных территориях в Забайкальском крае» для данного природно-исторического объекта была предложена категория ООПТ в форме учебно-научного стационара.

Библиографический список

1. Алкин С.В. Забайкальский этнограф и археолог Елпидифор Иннокентьевич Титов // Сибирь: журнал писателей России. 2009. №1. – С. 182-194.
2. Константинов М.В., Васильев С.Г., Филатов Е.А., Викулова Н.О., Маслодудо С.В. Древняя история Забайкальского края в свете новых археологических открытий // Известия Лаборатории древних технологий. 2018. Т. 14, № 1. – С. 9-19.
3. Мороз П.В. Археологические разведки с осуществлением локальных земляных работ на Сухотинской мастерской в г. Чита Забайкальского края в 2019 г. – Чита, 2020. – 198 с.
4. Мороз П.В., Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Сухотинского геoarхеологического района // Стратиграфия, палеoэкология, культуры. Вып. 7. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2018. – С. 100-105.
5. Мороз П.В., Славинский В.С., Цыбанков А.А., Верещагин С.Б. Исследование Сухотинской мастерской в Восточном Забайкалье (по данным работ 2019 года) // Записки Института истории материальной культуры РАН. 2021. № 24. – С. 144-153.
6. Мороз П.В., Истомин Ю.О., Куйдин Н.В. Стоянка-мастерская «Скальная» на выходах сырья Титовской Сопки // Забайкалье историческое. Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Чита: Изд-во ЗабГУ, 2021. – С. 75-79.
7. Сеница С.М. Титовская Сопка // Малая энциклопедия Забайкалья. Природное наследие. Гл. ред. Р.Ф. Гениатулин. – Новосибирск: Наука, 2009. – С. 547-549.
8. Филатов Е.А. Сухотинский геoarхеологический комплекс: научный путеводитель по палеолитическим памятникам Сухотинского геoarхеологического комплекса. Чита: Изд-во ЗабГУ, 2016. – 44 с.

Вулканическая постройка Титовская Сопка как памятник природы и сырьевой источник каменного века

Юргенсон Г.А.¹, Мороз П.В.²

¹ Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия, yurrga@mail.ru

² Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, frostius.81@mail.ru

Аннотация. Впервые дано комплексное описание геологического строения и археологических памятников горного массива Титовская сопка в пределах города Читы в Забайкальском крае. Дано краткое описание стратовулкана триасового возраста и слагающих его вулканических лав. Показано, что основным сырьем для производства каменных орудий палеолита были роговики, ороговикованные вулканиты и метаморфизованные милониты. Дана информация об археологических памятниках палеолита и мастерских и пространственном их расположении, которые находятся непосредственно на геологических телах, сложенных минеральным сырьем для изготовления орудий.

Ключевые слова: Титовская Сопка, стратовулкан, триасовый возраст, трахиандезиты, трахидациты, трахиты, граносиениты, роговики, Сухотинский георхеологический комплекс, Чита, Забайкальский край.

Volcanic building Titovskaya Sopka as a natural monument and raw material source of the Stone Age

Yurgenson G.A.¹, Moroz P.V.²

¹ Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia, yurrga@mail.ru

² Zabaikalsky State University, Chita, Russia, frostius.81@mail.ru

Abstract. For the first time, a comprehensive description of the geological structure and archaeological sites of the Titovskaya Sopka mountain range within the city of Chita in the Trans-Baikal region is given. A brief description of the Triassic stratovolcano and its constituent volcanic lavas is given. It is shown that hornfelses, hornfelsed volcanics and metamorphosed mylonites were the main raw materials for the production of stone tools of the Paleolithic. Information is given about the archaeological sites of the Paleolithic and workshops and their spatial location, which are located directly on the geological bodies, composed of mineral raw materials for the manufacture of tools.

Keywords: Titovskaya Sopka, stratovolcano, Triassic age, trachyandesites, trachydacites, trachytes, granosienites, hornfelses, Sukhotinskiy geoarchaeological complex, Chita, Transbaikal region.

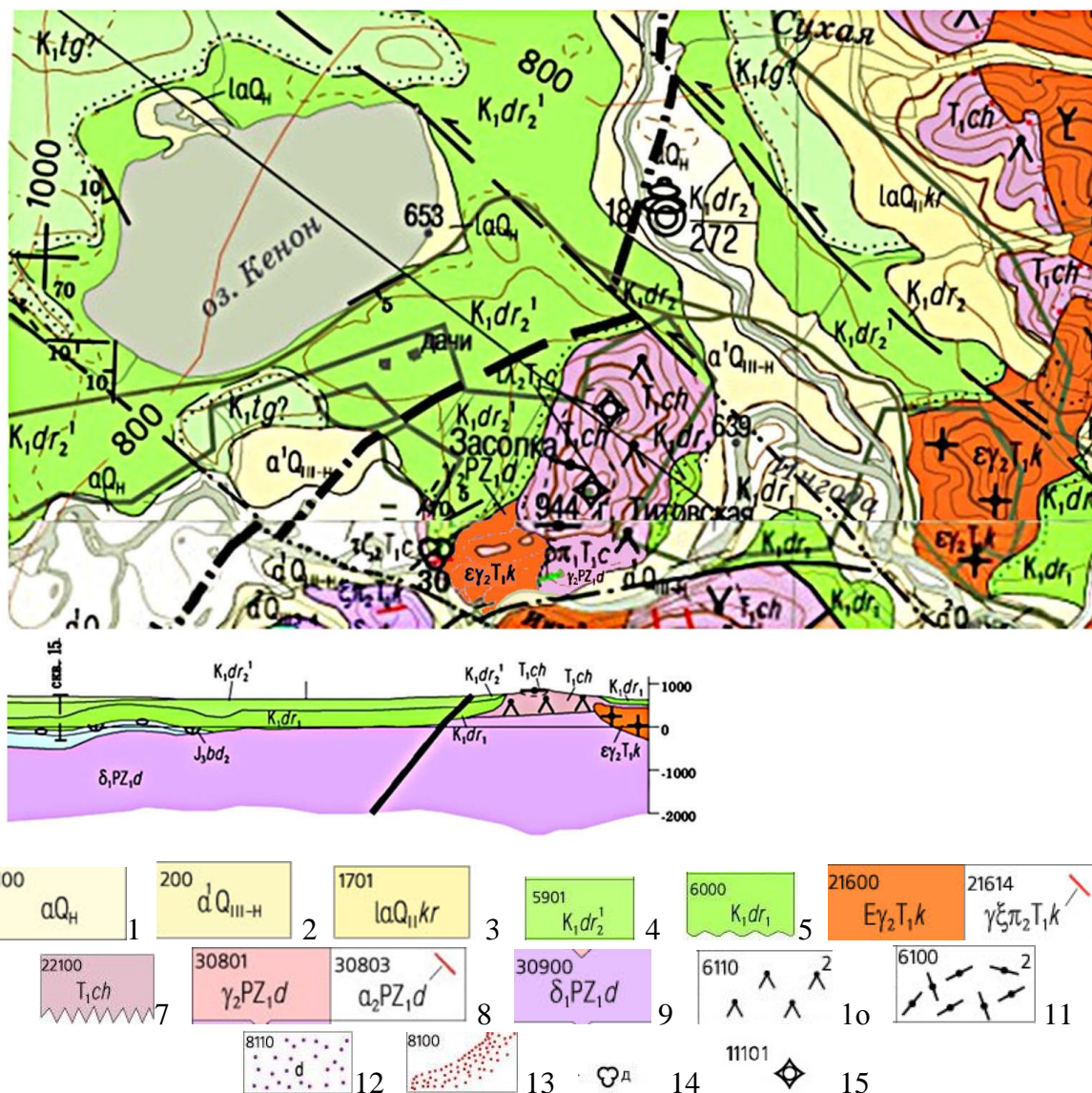
Титовская сопка представляет собою горный массив на юго-западной окраине г. Читы и относится к ценной природно-исторической территории, которая является комплексным природным и археологическим памятником геоморфологического, геологического и палеонтологического типа.

Особенности геологического строения. Титовская Сопка представляет собою интенсивно эродированный стратовулкан раннетриасового возраста, вулканогенные образования которого относятся к цаган-хунтейской свите. Она сложена андезитовыми порфиритами, их кластолавами, лавами, ксенокластовыми лавами порфиров и кварцевых порфиров, трахиандезитов и трахитов. Все эти разновидности вулканитов в определенной последовательности залегают только в пределах горы Титовской [7]. Геологическое строение территории Титовского горного массива представлено на рисунке 1.

Абсолютный возраст кварцевых порфиров и фельзитовых порфиров горы Титовской показал, соответственно, 260 и 240 млн. лет, что вполне определенно указывает на формирование вулканических образований в триасовый период. Результаты определения абсолютного возраста кварцевых порфиров из верховий речки Кадала по данным Безверхнего и Звонковой (1964 г., стр. 76) дал 214 млн лет, Эти данные определения абсолютного возраста дают основание считать процесс формирования вулканитов, слагающих Титовскую сопку и прилегающих территорий в пределах г. Читы, длившийся с поздней перми до триаса включительно.

Стратовулкан непосредственно в пределах Титовского горного массива в обобщенном виде сложен чередующимися потоками лав (снизу вверх): базальтов, андезитов, трахиандезитов, трахидацитов, трахириолитов и трахитов. Мощность потоков варьирует от

20 до 100 м, а их видимая ширина составляет порядка 100-200 м. Базальты образуют горизонты мощностью до 20 м при видимой обнажающейся ширине до 20-30 м.



1-3: антропоген : 1 – аллювий поймы; 2 – верхнее звено. Голоцен. Аллювиальные отложения; 3 – среднее звено. Селенгинский Усть-Киранский горизонт. Кривороская свита. Озерно-аллювиальные отложения; 4-5: меловые отложения, доронинская свита: 4 – верхняя подсвита, нижняя пачка, аргиллиты, алевролиты, песчаники; 5 – нижняя подсвита, конгломераты, фангломераты, гравелиты; 6 – куналейский комплекс щелочных гранитов и сиенитов: вторая фаза, умеренно-щелочные граниты и дайки граносиенит-порфиров; 7 – цаган-хунтейская свита триаса. Лавы, ксенокластолавы трахиандезитов, трахидацитов, трахириолитов, трахибазальтов, андезитов, дацитов, андезибазальтов, туфы, туфобрекчии и др.; 8-9: дждинский интрузивный комплекс палеозоя: 8 – граниты, лейкограниты, дайки гранитов, аплитов второй фазы; 9 – диориты и кварцевые диориты, грандиориты первой фазы. 10 – трахидациты; 11 – трахириолиты; 12 – диафторированные породы; 13 – роговики над нескрытыми интрузивами; 14 – место сбора проб пыли; 15 – внемасштабные экструзивные и жерловые тела и номера точек их описания при съемке.

Рисунок 1. Геологическая карта Титовской Сопки и геологический разрез.

В скалистых выступах южной части Титовского палеовулкана развиты кластолавы с вулканическими бомбами величиной до полутора-двух метров. Для потоков характерна почти вертикальная флюиальность, свидетельствующая о движении лавы снизу вверх, нередко образуя экструзии граносиенит-порфиров, хорошо выделяющиеся в рельефе в виде островерхих выступов.

В южной части склона сопки среди потоков черных базальтовых лав находится дайка пегматита и выход сиенит-порфира, являющийся неким боковым паразитическим извержением. Подобный нект находится и напротив смотровой площадки в карьере, из которого добывали горные породы для производства щебня во время строительства шоссе вдоль Сибирского тракта. В левом борту распадка Логовой вскрыты трахибазальты с неким сиенит-порфирами. Здесь интенсивно развиты по тонким трещинам дендриты марганца. На северных отрогах Титовской сопки на дневную поверхность выходят кластолавы трахитов, содержащих массивные пепловые туфы. В юго-западной части горного массива в крутом распадке вверх от Ингоды находится контакт палеозойских лейкократовых гранитов и налегающих на них трахитовых лав Титовского стратовулкана., слагающих цаган-хунтейскую свиту.

В районе Сухотино вулканы подвержены ороговиканию в связи с воздействием не выходящего на поверхность фрагмента Молоковской интрузии, относящейся к куналейскому интрузивному комплексу раннего триаса, секущему вулканы цаган-хунтейской свиты. Известный выход пегматита, секущего базальт цаган-хунтейской свиты, является пока единственным четко проявленным примером этого. Воздействие их, выражающееся в ороговикании вулкаников, видимое лишь при изучении их в прозрачных шлифах, наблюдается и в других местах Титовской сопки. Этот процесс способствует увеличению прочности вулкаников и является основной причиной возможности использования человеком палеолита в качестве сырья для изготовления орудий.

Титовская Сопка имеет крайне высокое историко-культурное значение, ввиду того что с её склонами связан Сухотинский георхеологический комплекс, включающий в себя порядка двадцати различных объектов археологического наследия начиная со среднего палеолита[5]. В настоящее время часть из них раскопано. Это – прежде всего могильники железного века, исследованные археологами во второй половине XX века, но наибольшую значимость, имеют частично раскопанные стоянки, поселения и мастерские каменного века, составляющие основу Сухотинского георхеологического комплекса. Расположение археологических памятников Титовской Сопки показано на рисунке 2.



Рисунок 2. Расположение археологических памятников Титовской Сопки.

Памятники каменного века Титовской сопки известны в научной среде уже более века. Этот палеовулкан является господствующей высотой над юго-западной частью города и сам

по себе представляет живописную местность, с которой открывается хороший вид на расположенный амфитеатром г. Чита, поэтому интерес к его склонам городские обыватели проявляли с XIX в., а у подножья размещались дома местных жителей. Первые подъемные сборы археологического материала были выполнены основателем и первым директором Читинского областного краеведческого музея А.К. Кузнецовым и научным сотрудником музея А.И. Махаловым, а первые раскопки на склонах этого палеовулкана произвел Е.И. Титов в 1924 г. [(1, с. 186)], что и можно назвать достоверной датой начала полноценных археологических исследований на этой территории. Второй, наиболее существенный этап изучения связан с деятельностью А.П. Окладникова, И.И. Кириллова, С.Н. Астахова, Е.В. Ковычева и М.В. Константинова. За период 1960-1980-х гг. открыты и в разной степени изучены десятки объектов, включая уникальные памятники каменного века, в настоящее время включенные в состав Сухотинского археологического комплекса. В ходе этого этапа работ, включая шурфовки начиная с 1959 г. была открыта «Мастерская каменного века „Титовская Сопка“», ныне также известная как Мастерская им. А.П. Окладникова.

В 400 метрах к северу от этой мастерской расположена стоянка-мастерская Скальная. Геоморфологически памятник связан с высоким бортом мощного лога, прорезающего восточный склон Титовской сопки с высотными отметками с севера на юг 835-825 м, в древности сформированным лавовыми потоками, которые образовали наклонную поверхность. Она ограничена с юга подпорным скальником, что дало возможность удерживать обломочный материал и артефакты, спускающийся с верхних уровней склона. Западная и восточные границы памятника подвержены денудационным процессам в связи с деятельностью обширного лога с востока и более мелкого с запада. В настоящее время, это наиболее высокорасположенный археологический памятник из известных в настоящее время на Титовской сопке.

Материалы культурного слоя, связанного с первым литологическим слоем, не являются «инситуными», так как они явно претерпели значительное (по всей видимости, первый десяток метров) смещение с верхних уровней, что привело к перемешиванию артефактов первого культурного слоя. Поэтому его следует рассматривать как единый смешанный комплекс. Объект Скальная представляет собой стоянку-мастерскую. Подобный тип памятников широко известен в Восточном Забайкалье, они, как правило, представлены отдельными площадками, содержащими не продукты расщепления заготовок, а сколы подправки и доводки каменных орудий в виде мелких чешуек и сколов. Отсутствуют крупные отщепы и пластины. Практически все выявленные нуклеусы относятся к призматическим и торцовым. Это позволяет коррелировать комплекс Скальной с первым культурным слоем Сухотинской мастерской, верхним культурным слоем мастерской Титовская сопка (мастерской им. Окладникова) и отнести его к границе не ранее МИС 3 – МИС 2. Минеральное сырьё, применявшееся для расщепления на этом памятнике, отлично от распространённого на Титовской сопке роговика чёрного оттенка. Сырьё имеет зеленовато-синий оттенок и тонкозернистую слоистую текстуру, близкую к роговикам. Сырьё представляет собой милонит, ранее не фиксируемый на памятниках Титовской сопки. Артефакты слабо патинизированы, что существенно отличает их от первого культурного слоя Сухотинской мастерской, имеющих крайне высокую степень патинизации. Очевиден источник данного сырья, он расположен в 400 метрах от стоянки-мастерской, выходы которого обнажены современным карьером.

Вторая крупная мастерская каменного века на склонах Титовской сопки найдена в противоположной части палеовулкана в урочище Сухотино и связана с именем И.И. Кириллова. Этот объект описывается в его научном отчете за 1978 г. как пункт сбора многочисленного подъемного материала. В настоящее время этот памятник известен как Сухотинская мастерская, или Сухотино-12. Последнее название предложено в ходе исследований, проведенных М.В. Константиновым и Е.А. Филатовым [2]. Эти рекогносцировочные работы проводились с 2012 г., в ходе которых в 2013 г. Е.А. Филатовым был заложен шурф в северо-западной части Сухотинской мастерской [8] ходе раскопок было

пройдено порядка двух метров отложений и получена коллекция из более чем 12 000 каменных изделий [8, с. 35), происходящих из пяти пачек рыхлых отложений. При этом нижняя пачка отложений, содержащая пятый культурный слой, исследователями была отнесена к МИС-4, т.е. к зырянскому времени.

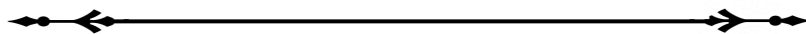
Исследования Сухотинской мастерской были продолжены в 2019 г. Одним из авторов данной работы [3]. Была выполнена прирезка к шурфу 2013 г. площадью 2 м² и пройдены пять пачек рыхлых отложений вплоть до скального цоколя. В ходе работ было выявлено 3513 артефактов. Благодаря проведенному технико-типологическому анализу полученной коллекции 2019 г. удалось установить технологические различия между культурными слоями памятника.

В 2021 году в непосредственной близости найдена новая мастерская каменного века [6]. ОКН представляет собой полностью новый, ранее неизвестный объект на Титовской сопке, выявленный автором отчёта в полевой сезон 2021 года. В ходе изучения выхода роговиков, на которых расположена Сухотинская мастерская, удалось выявить новую мастерскую каменного века. Археологический материал из темноцветных роговиков – основного сырья Титовской сопки – выявлен на 100-120 метров севернее и 20-25 метров выше мастерской Титовская сопка в урочище Сухотино. Подъёмный материал между объектами полностью отсутствует. Объект приурочен к зоне роговика и является классической мастерской на выходе сырья. Ввиду значительного вклада выдающегося русского археолога С.Н. Астахова в изучение Титовской сопки, было предложено дать номенклатурное название данного ОКН «Мастерская им. С.Н. Астахова».

Почему же на склонах Титовской Сопки такая концентрация разнотипных памятников каменного века? Нам видится ответ на этот вопрос в рамках петроархеологической тематики. По всей видимости это разнообразие горных пород в памятниках Титовской Сопки [4] напрямую связано с их шаговой доступностью. Древний палеовулкан выступал для человека, своего рода сырьевым «хабом», дававшим доступ к технологичному сырью высокого качества, что и объясняет подобную концентрацию этих объектов археологического наследия на его склонах и в непосредственной близости.

Библиографический список

1. Алкин С.В. Забайкальский этнограф и археолог Елпидифор Иннокентьевич Титов // Сибирь: журнал писателей России. 2009. № 1. – С. 182-194.
2. Константинов М.В., Васильев С.Г., Филатов Е.А., Викулова Н.О., Маслодудо С.В. Древняя история Забайкальского края в свете новых археологических открытий // Известия Лаборатории древних технологий. 2018. Т. 14, № 1. – С. 9-19.
3. Мороз П.В. Археологические разведки с осуществлением локальных земляных работ на Сухотинской мастерской в г. Чита Забайкальского края в 2019 г. – Чита, 2020. – 198 с.
4. Мороз П.В., Юргенсон Г.А. Минеральное сырье Сухотинского геoarхеологического района // Стратиграфия, палеoэкология, культуры. Вып. 7. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2018. – С. 100-105.
5. Мороз П.В., Славинский В.С., Цыбанков А.А., Верещагин С.Б. Исследование Сухотинской мастерской в Восточном Забайкалье (по данным работ 2019 года) // Записки Института истории материальной культуры РАН. 2021. № 24. – С. 144-153.
6. Мороз П.В., Истомин Ю.О., Куйдин Н.В. Стоянка-мастерская «Скальная» на выходах сырья Титовской Сопки // Забайкалье историческое Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Чита, Изд-во: ЗабГУ, 2021. – С. 75-79.
7. Синица С.М., Мясников А.В., Неживой М.Н. и др. Геологическая аудитория под открытым небом (Титовская Сопка) // Ресурсы Заб.
8. Филатов Е.А. Сухотинский геoarхеологический комплекс: научный путеводитель по палеолитическим памятникам Сухотинского геoarхеологического комплекса. – Чита : Изд-во ЗабГУ, 2016. – 44 с.



Петрогенетические особенности формирования рудоносной Шерловогорской вулcano-плутонической ассоциации пород в Восточном Забайкалье

Баданина Е.В., Сырицо Л.Ф., Волкова Е.В.

Санкт-Петербургский государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: e.badanina@spbu.ru

Аннотация. В настоящем сообщении рассматриваются наиболее важные проблемы условий формирования уникальной вулcano-плутонической ассоциации пород Шерловогорского рудного узла в Восточном Забайкалье: возрастные соотношения, состав минералообразующих сред и характер распределения редких элементов.

Ключевые слова: Восточное Забайкалье, гранитоидный магматизм, вулcano-плутоническая ассоциация, изотопно-геохимические исследования, минералообразующие среды

Petrogenetic features of the formation of ore-bearing Sherlovaya Gora volcanic-plutonic association of rocks in Eastern Transbaikalia

Badanina E.V., Syritso L.F., Volkova E.V.

State University of Saint-Petersburg, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: e.badanina@spbu.ru

Abstract. This report discusses the most important problems of the conditions for the formation of a unique volcanic-plutonic association of rocks of the Sherlovaya Gora ore node in Eastern Transbaikalia: age ratios, composition of mineral-forming media and the nature of the distribution of rare elements.

Keywords: Eastern Transbaikalia, granitoid magmatism, volcanic-plutonic association, isotope-geochemical research, mineral-forming media

Уникальность Шерловогорского рудного узла определяется многими обстоятельствами, среди которых первое место принадлежит красоте и обилию камнесамоцветного сырья – густоокрашенные прозрачные аквамарины, гелиодоры, голубые топазы, крупные хорошо огранённые кристаллы мориона. Наличие различных генетических типов рудообразования привело к возникновению здесь многообразия минеральных видов, в том числе редких и очень редких минералов. Работа по обобщению и представлению этого материала выполнена Г.А. Юргенсоном в прекрасно изданной монографии «Шерловая Гора:…» (Минералогический альманах, 2014 год) [4].

Благодаря многообразию генетических типов месторождений: пегматиты Адун-Челона, грейзены с камнесамоцветным сырьём и Sn-W оруденением Шерловой горы, олово-полиметаллическое оруденение риолитов сопки Большой, Шерловогорский рудный узел (ШГРУ) представляет собой исключительно благоприятный объект для петрогенетического моделирования и создания изотопно-геохимической модели формирования многофазного массива редкометальных гранитов (РГ), сопровождающегося субэффузивными породами широкого спектра составов.

Ранее на основе изучения вещественного состав пород, минералообразующих сред и возрастных характеристик комплекса пород, сопровождающих выходы РГ в пределах рудных узлов Забайкалья (Хангилайский, Шерловогорский, Букуинский, Белухинский) было разработано представление о существовании когенетичной вулcano-плутонической ассоциации. Общими чертами химизма этих пород являются высокая плюмазитовость, низкая фемичность и основность, повышенные содержания литофильных редких элементов (Li, Rb, Nb, Ta, Sn, W), низкое содержание Zr, РЗЭ, Sr и закономерности их распределения. Различия этих пород заключаются в соотношении калия и натрия, в уровнях концентрации редких и тугоплавких элементов, характере распределения РЗЭ и специализации и содержании летучих компонентов, что проявляется в составе слюд [1, 3].

В настоящее время для продолжения этих исследований наиболее перспективным объектом представляется Шерловогорский рудный узел, в котором проявляется наибольшее разнообразие субэффузивных пород (онгониты, риолиты, онгориолиты, эльваны).

Для решения проблемы выяснения причин пространственной совмещенности комплекса субэффузивных пород с массивами РГ нами изучены возрастные соотношения пород и руд

этого объекта (Rb-Sr, Sm-Nd изотопные системы для пород, вольфрамита и касситерита), анализ состава минералообразующих сред на основе изучения расплавных (РВ) и флюидных (ФВ) включений в кварце.

Согласно полученным изотопно-геохронологическим данным, возраст формирования всех пород вулcano-плутонической ассоциации ШГРУ укладывается в интервал порядка 4 млн лет – от 145.7 ± 1.3 млн лет до 141.5 ± 1.0 млн лет. При этом, как видно из таблицы, при формировании всей ассоциации пород ШГРУ в рамках одного временного интервала наблюдается определённая последовательность, которая проявляется в том, что образование гранитов Адун-Челонского массива и онгонитов Ары-Булакского штока предшествует образованию гранит-порфиров Шерловогорского массива, риолитов сопки Большой и онгориолитов сопки Высокой из его ареала.

Таблица

Возраст и изотопно-геохимические характеристики пород вулcano-плутонической ассоциации ШГРУ

Массив, порода	Возраст (Rb-Sr) млн лет	IR (Sr)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	ϵNd (T)
Адун-Челонский массив, биотитовые граниты	145.7+1.3	0.70507+20	0.1175	-0.4 - -0.9
Ары-Булакский шток, онгониты	144.2+1.4	0.7111+20	0.1290	-1.6 - -1.9
Шерловогорский массив, биотитовые гранит-порфиры	141.7+1.0	0.70389+75	0.1312	-0.3
Сопка Большая, риолиты		0.703198*	0.2687	0.3
Сопка Высокая, онгориолиты		0.703404*	0.3418	-0.3

Примечание: «*» - расчётное значение.

Полученные результаты изотопно-геохимических исследований определённо фиксируют воздействие на кристаллизующийся расплав ювенильной составляющей, которая проявляется в низком значении первичного изотопного отношения стронция (IR (Sr) до 0,703) и аномально высоких, близких к нулевому, положительных значениях ϵNd (до +0.3), характерных для всего спектра гранитоидных пород ШГРУ. Указанная тенденция понижения радиогенного стронция и роста значений ϵNd является характерной особенностью рудоносных РГ Восточного Забайкалья. Однако на Шерловой горе эта особенность характеризуется максимальным проявлением. Эти признаки, очевидно, являются следствием воздействия плюмовых процессов, получивших развитие в Монголо-Забайкальской части Центрально-Азиатского складчатого пояса. В позднем мезозое в пределах изучаемого региона «внутриплитная активность... контролировалась группой относительно мелких мантийных плюмов («hot finger»»)» [5].

Изучение расплавных и флюидных включений в кварце показывает резко различный характер распределения редких элементов между породой и расплавом в изучаемых типах вулcano-плутонических пород ШГРУ. Наиболее высокая концентрация редких литофильных элементов установлена в породе онгонитов (Li до 555 ppm, Rb до 1847 ppm, Cs до 272 ppm, Та до 48 ppm, Nb до 73 ppm). Однако в онгонитовом расплаве по сравнению с породой уровни концентрации этих элементов резко понижены (Rb до 924 ppm, Cs до 185 ppm, Та до 2.40 ppm, Nb до 2.28 ppm), за исключением лития (Li до 715 ppm). Сопоставление составов гомогенных стёкол РВ и соответствующих пород показывает, что стёкла характеризуются меньшей фемичностью, основностью и содержанием тугоплавких элементов, что свидетельствует о кристаллизации минерала-хозяина кварца после отсадки этих элементов в составе аксессуарных минералов. Благодаря аномально высокой концентрации летучих (фтор до 2.6 масс.%, хлора до 0.6 масс.%, бора до 294 ppm) в расплаве фельзит-порфиров Шерловой горы (сопка Лукавая) есть основание считать их предельными дифференциатами эманационного фракционирования флюидонасыщенного гранитоидного расплава. При этом,

исключительного внимания заслуживает то обстоятельство, что в этих породах устанавливается экстремальный переход редких элементов во флюид с аномально высокой концентрацией. Так, содержание вольфрама в расплаве фельзит-порфиров сопки Лукавой составляет 16.4 ppm, во флюиде – 2422 ppm, лития в расплаве – 879 ppm, во флюиде 2121 ppm. Во флюидах риолитов сопки Большой содержание олова достигает 5879 ppm, вольфрама 1228 ppm, лития 2118 ppm, урана 116 ppm. Из числа перечисленных элементов в риолитах сопки Большой реализуется только олово в виде тонкозернистого касситерита. Накопление урана во флюиде риолитовых магм может свидетельствовать о высоком их потенциале для постмагматического уранового рудообразования.

Настоящим исследованием мы продолжаем традицию детальных минералогическо-геохимических исследований Шерловой горы, заложенных профессором В.Ф. Барабановым на кафедре геохимии Санкт-Петербургского государственного университета [2].

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ 22-27-00427.

Библиографический список

1. Баданина Е.В., Толмачёва Е.А., Сырицо Л.Ф. Реконструкция состава минералообразующих сред и условий формирования вулкано-плутонической ассоциации Шерловгорского рудного узла в Восточном Забайкалье на основе изучения расплавных и флюидных включений в кварце // Материалы Межд. Конференции по термобарогеохимии. 22-25 сентября 2008. – М.: ИГЕМ. 2008. Т.1. – С. 78-81.
2. Барабанов В.Ф., Сырицо Л.Ф., Долгушина И.С., Виноградова Л.Г. Вольфрамовые месторождения Забайкалья. – СПб.: Изд-во СПбГУ. 1996. Т.1. – 293 с.
3. Сырицо Л.Ф., Баданина Е.В., Абушкевич В.С., Волкова Е.В., Шуклина Е.В. Вулканоплутонические ассоциации кислых пород в пределах редкометальных рудных узлов Забайкалья: геохимия пород и расплавов, возраст, P-T условия кристаллизации // Петрология. 2012. Т. 20, № 6. – С. 1-28.
4. Юргенсон Г.А., Кононов О.В. Шерловая гора: месторождение самоцветов и редких металлов. Минералогический Альманах. 2014. Т. 19. Вып. 2. – 144 с.
5. Ярмолук В.В., Коваленко В.И. Глубинная геодинамика, мантийные плюмы и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Петрология. 2003. Т. 11. № 6. – С. 556-586.

Содержание кальция, магния и фосфора в витаминно-минеральных комплексах

Молокеев А.К., Стасевич И.О.

ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», Чита, Россия, molkiev2@gmail.com

Аннотация. На территории Забайкальского края наблюдается существенный дисбаланс жизненно-важных макроэлементов – фосфора, магния, кальция на фоне избыточного содержания стронция, арсенатов и других антагонистов. Для улучшения макроэлементного статуса населения возможно массовое использование витаминно-минеральных комплексов (ВМК). В работе проведен анализ химического состава восьми витаминно-минеральных комплексов различных производителей. Выявлено, что для устранения дефицита кальция и фосфора наилучшим препаратом является «Супрадин» (Са – 353,1 мг/г, Р – 157,7 мг/г), а для устранения дефицита магния наиболее подходящими являются препараты «Компливит» (165,5 мг/г) и «Селмевит» (162,3 мг/г). Однако, для максимальной эффективности данных макроэлементов необходимо и высокое содержание в витаминно-минеральном комплексе холекальциферола, который в форме гормона – кальцитриола регулирует фосфорно-магниевый баланс.

Ключевые слова: макроэлементы, витаминно-минеральный комплекс, кальций, фосфор, магний.

Abstract. On the territory of the Trans-Baikal Territory, there is a significant imbalance of vital macronutrients - phosphorus, magnesium, calcium, against the background of an excess content of strontium, arsenates and other antagonists. To improve the macronutrient status of the population, the mass use of vitamin-mineral complexes (VMC) is possible. The paper analyzes the chemical composition of vitamin-mineral complexes. It was found that Supradin (Ca – 353.1 mg/g, P – 157.7 mg/g) is the best drug to eliminate calcium and phosphorus deficiency, and Complivit preparations are the most suitable to eliminate magnesium deficiency (165, 5 mg/g) and Selmevit (162.3 mg/g). However, in addition to the maximum efficiency of these macronutrients, a high content of cholecalciferol in the vitamin-mineral complex is also necessary, which, in the form of a hormone - calcitriol, regulates the phosphorus-magnesium-calcium balance.

Keywords: macroelements, vitamin and mineral complex, calcium, phosphorus, magnesium.

Макроэлемент магний необходим человеческому организму, так как он принимает активное участие в обменных процессах, обеспечивает стабилизацию молекул АТФ и адекватное протекание процессов генерации и переноса химической энергии, а также регулирует нервно-мышечную деятельность. Главным местом локализации магния в человеческом организме является костная и мышечная ткань. В норме, физиологическая потребность в магнии составляет 420 мг [4]. Дефицит магния – широко распространённое явление у населения России. Для дефицита магния характерны сердечно-сосудистые, висцеральные, церебральные и мышечно-тетанические проявления [5]. Однако, приём ВМК с магнием должен быть безопасен, так как одновременное содержание в препарате магния и аскорбиновой кислоты может привести к повышению уровня малонового диальдегида (МДА) в сыворотке крови детей, что свидетельствует об усилении процессов перекисного окисления липидов [1].

Кальций является важной составляющей минеральных компонентов организма, в основном в форме гидроксиапатита, а в ионизированной форме является вторичным посредником для передачи сигналов в клетках. Высокая активность кальция позволяет конкурировать с радионуклидами и тяжелыми металлами на всех этапах метаболизма. Суточная потребность организма в кальции составляет 1500 мг [4]. По данным Росстата, в рационе большинства жителей России содержится недостаточное количество кальция, что обусловлено недостаточным потреблением рыбы, молочных продуктов, фруктов и овощей [2]. Патологии, связанные с нарушением метаболизма кальция, могут привести к гипокальциемии, нарушениям в строении костной ткани, проблемам в работе нервной и мышечной системах [3].

Синергистом в обмене кальция и магния являются фосфат-анионы, основная масса которых сосредоточена в гидроксиапатитах костной ткани, а в ионизированной форме и в виде органических фосфатов (АТФ, креатинфосфат и др.) в мышцах и нервной ткани. На микроуровне фосфор входит в состав белков, нуклеиновых кислот, нуклеотидов, фосфолипидов и макроэргов. Таким образом, фосфор выполняет различные функции:

энергетическую, генетическую, строительную, нервно-регуляционную и другие. Суточная потребность составляет 3000 мг/мл [4]. Недостаток фосфора в организме может привести к таким паталогическим состояниям, как остеомаляция, семейному гипофосфатемическому рахиту, гиперпаратиреозу, острой подагре [2].

Цель исследования. Определить количество макроэлементов – кальция, магния и фосфора в витаминно-минеральных комплексах для их использования в профилактике их дефицита.

Материалы и методы. В качестве объектов исследования были использованы 8 ВМК: «Компливит» (Фармстандарт) (m 1 таблетки 0,87 г); «Монте – Вите» от А до Zn (Внешторг Фарма) (m 1 таблетки 0,64 г); Будь Здоров «От А до Zn» для детей (m 1 таблетки 0,85 г); Будь здоров «От А до Zn» для женщин (m 1 таблетки 1,24 г); Селмивит (Фармстандарт) (m 1 таблетки 0,81 г); Витрум Вижн Плюс (Eagle Nutritionals, Inc./Unipharm) (m 1 таблетки 0,87 г); Vitrum Energy (Walmark) (m 1 таблетки 1,38 г); Супрадин (Драгенофарм Апотекер Пюшль) (m 1 таблетки 1,16 г).

Анализ элементного состава (Mg, Ca, P) проводился рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия). Предварительно таблетки препаратов взвешивались на аналитических весах с точностью до 0,0001 г, и растворялись в сверхчистой воде. Аликвота пробы, объемом 500,0 мкл помещалась в пробирки и смешивалась с 50,0 мкл стандартного раствора соли германия с концентрацией 2,5 мг/л (стандарт для ISP, 1000 мг/л, Sigma-Aldrich).

Результаты и их обсуждение. Химический анализ ВМК по содержанию магния выявил, что наибольшие количества макроэлемента отмечались в препаратах «Компливит» и «Селмевит» 165,50 мг/г и 162,25 мг/г соответственно (табл. 1). Найденные концентрации в разы превышали заявленные производителем и они составляли 38-39% от суточной потребности. ВМК с наименьшим содержанием магния был Vitrum вижн плюс 14,25 мг/г, однако, производитель не заявлял о его содержании в препарате.

Таблица 1

Содержание макроэлементов в витаминно-минеральных комплексах, мг/г

ВМК	Фактическое	Заявленное	Фактическое	Заявленное	Фактическое	Заявленное
	Mg		Ca		P	
Компливит	165,51	60	40,45	50,5	18,04	60
Монте-Вите от А до Zn	59,21	–	231,28	–	1,48	–
Будь здоров от А до Zn для детей	64,49	15	253,5	68	27,38	–
Будь здоров от А до Zn для женщин	59,07	60	87,64	150	0,89	–
Селмевит	162,25	40	40,72	25	68,93	30
Vitrum вижн плюс	14,25	–	187,24	–	157,72	–
Vitrum Energy	93,12	100	129,19	120	3,86	–
Супрадин	131,89	21,2	353,09	51,3	157,59	23,8

Наибольшее содержание кальция было обнаружено в ВМК «Супрадин» (353,08 мг/г) и «Будь здоров от А до Zn для детей» (253,52 мг/г) (таблица 1). Данные концентрации от суточной потребности составляют 23,5% и 16,9% соответственно. Фактическое содержание кальция не превышает заявленное среди всех исследуемых ВМК, однако развитие ятрогенного избытка макроэлемента не будет наблюдаться даже при длительном и избыточном потреблении соответствующих препаратов. Поступление и распределение ионов кальция жестко регулируется эндокринной системой, а биодоступность элемента относительно низкая: 25-40% [3, 4]. Среди ВМК с заявленным содержанием кальция его наименьшее количество обнаружено в «Селмевите» (40,72 мг/г).

По содержанию фосфора его наибольшее содержание отмечалось в «Супрадине» (157,59 мг/г) и «Селемевите» (68,93 мг/мл), и концентрация элемента в данных препаратах превышала заявленную (таблица 1). ВМК «Супрадин» покрывает 5,2% суточной потребности, а «Селемевит» – 2,3%.

Вывод. Таким образом, при сравнении витаминно-минеральных комплексов по содержанию магния, кальция и фосфора выявлено, что ни один из препаратов не содержит их избыточных количеств. При этом использование этих препаратов в качестве пищевых добавок позволяет покрывать алиментарную потребность на 20-50 % от суточной для взрослого организма. Использование витаминно-минеральных комплексов в биогеохимических условиях Забайкалья является оправданным, так как эссенциальные элементы уменьшают скорость поступления и масштаб воздействия токсичных микроэлементов. Из-за сложных взаимодействий микро- и макроэлементы могут выступать как синергистами, так и антагонистами между собой. Поэтому, при выборе ВМК необходимо учитывать соотношение риска и пользы его использования [1].

Библиографический список

1. Витамины / В.М. Коденцова. — М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2015. — 408 с.: ил. + вкл. 12 с.
2. Коденцова В.М., Вржесинская О.А. Витаминно-минеральные комплексы: формы и способы применения // Микроэлементы в медицине. – 2018. – Т. 19, № 1. – С. 14-23.
3. Панченко Л.Ф., Маев Л.Ф., Гуревич К.Г. Клиническая биохимия микроэлементов – М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2004. – 363 с.
4. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека – М.: «ОНИКС 21 век», 2004. – 216 с.
5. Шилов А.М., Абдуллаева А.Т. Место «дефицита магния» в сердечно-сосудистом континууме: патофизиология, клиника и лечение // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – № 1. – С. 6-11.

Экспериментальное исследование взаимодействия промывных вод хвостов переработки вольфрамовых руд с известняком

Санжанова С.С., Плюснин А.М.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), Улан-Удэ, Россия, sanzhanova7@rambler.ru

Аннотация. Хвосты переработки Джидинского вольфрамо-молибденового комбината содержат остаточную рудную минерализацию, которая при длительном хранении подверглась окислительному разложению. Фильтрат, полученный промыванием дистиллированной водой хвостов, содержит серу, алюминий, железо, марганец, цинк, медь, кадмий и др. компоненты. При нейтрализации фильтрата в динамических условиях природным известняком осаждаются аморфные соединения и образуются минералы гипс, доломит. Выявлено осаждение аморфного оксида алюминия, цинка в виде смитсонита, нарушение соотношения между легкими и тяжелыми РЗЭ в фильтрате после контакта с известняком.

Ключевые слова: нейтрализация кислых вод, известняк, микроэлементы, осаждение, лантаноиды.

Experimental study of the interaction of washing waters of tungsten ore processing tailings with limestone

Sanzhanova S.S., Plyusnin A.M.

Geological Institute N.L. Dobretsov Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS), Ulan-Ude, Russia, sanzhanova7@rambler.ru

Abstract. The tailings of the processing of the Dzhida tungsten-molybdenum Combine contain residual ore mineralization, which has undergone oxidative decomposition during prolonged storage. The filtrate obtained by washing the tailings with distilled water contains sulfur, aluminum, iron, manganese, zinc, copper, cadmium, etc. components. When the filtrate is neutralized under dynamic conditions, amorphous compounds are deposited by natural limestone and gypsum and dolomite minerals are formed. Deposition of amorphous aluminum oxide, zinc in the form of smithsonite, violation of the ratio between light and heavy REE in the filtrate after contact with limestone was revealed.

Keywords: neutralization of acidic waters, limestone, trace elements, precipitation, lanthanides.

В составе песков хвостохранилищ ГОКов содержится остаточная рудная минерализация, которая при длительном хранении разлагается, обогащая поровые воды различными токсичными и ценными в промышленном отношении компонентами. Пески Джидинского хвостохранилища содержат кварцевый песок с примесью полевых шпатов, апатита, альбита, амфибола, эпидота, флюорита, гюбнерита, шеелита, берилла, магнетита, гетита, хлорита, пирита, молибденита, циркона, сидерита, шеелита [1]. В зоне гипергенеза минералы подвергается физико-химическим изменениям. Так, в Джидинском хвостохранилище сфалерит из поверхностного слоя на глубину 2 м выщелочен почти на 100 %, также заметно разрушились кальцит, галенит, частично халькопирит. При этом поровая вода в отвалах горных пород в местах хранения отходов добычи и переработки руд насыщена теми металлами, которые высвобождаются при окислительном разрушении этих минералов.

Окисление сульфидов в отходах, приводит к образованию серной кислоты и солей окисленных форм серы, растворению металлов входящих в состав сульфидов, поэтому преобладающими составляющими большинства кислых шахтных вод являются сульфаты и ионы тяжелых металлов. При испарительном концентрировании солей происходит образование вторичных минералов. Выявлено, что гидроксисульфат железа может кристаллизоваться в минералы швертманнита и ярозита, при микробном окислении Fe (II) образуются гетит и гематит. Вторичные сульфаты алюминия обычно аморфны, хотя встречаются кристаллические алюноген и фельсобаньяит. Высаживание гипса нередко протекает с соосаждением ионов тяжелых металлов, также аморфные соединения Fe, Al способны адсорбировать тяжелые металлы.

Для нейтрализации кислых сточных вод довольно широко применяется известняк. Как нейтрализатор он нашел широкое применение как у нас в стране, так и за рубежом. Получено несколько патентов на способы нейтрализации кислых вод при разработке угольных, медных и вольфрам-молибденовых месторождений [2].

В представленной экспериментальной работе исследовался способ нейтрализации кислых поровых вод в динамических условиях. Такой способ нейтрализации позволяет разделить в пространстве осаждение токсичных и ценных в промышленном отношении металлы, что в последующем дает возможность перерабатывать продукты нейтрализации и извлекать ценные компоненты, в том числе и РЗЭ.

Для проведения экспериментов была изготовлена установка из полимерного материала, схема которой приведена на рисунке 1. Применялась установка в двух модификациях. В первом случае дистиллированная вода фильтровалась через слой песка, и затем фильтрат пропускаться через горизонтальную полимерную колонку, заполненную природным известняком (рисунок 1а). Во втором случае фильтрат собирался в промежуточную емкость и затем пропускаться через известняк (рисунок 1б). Для промывания песков использовалась дистиллированная вода, которая распылялась на поверхность песков порциями по 100 мл.

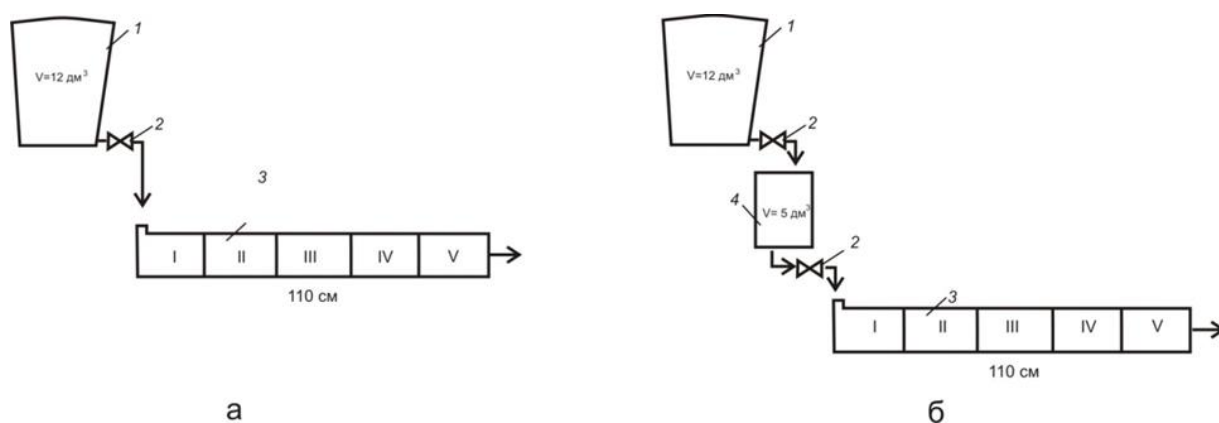


Рисунок 1. Экспериментальная установка: 1 – контейнер с песком, 2 – фильтры, 3 – труба с известняком, 4 – накопительная емкость для фильтрата.

Определение сульфатов в растворах проводилось турбидиметрическим методом (ПНД Ф 14.1:2.159-2000). Анализ кремниевой кислоты (РД 52.24.433-2005), фторидов (ПНД Ф 14.1:2:3:4.179-2002) проводился фотометрическим методом. Микроэлементы в воде анализировались атомной абсорбцией и ИСП МС. Твердые образцы анализировались атомно-эмиссионным на дифракционном спектрографе ДФС-13 с приставкой МАЭС и методами «силикатного» анализа в ЦКП «Спектр» ГИН СО РАН. Для измерений рН растворов использовался рН-метр ЭКСПЕРТ-001. Электронно-микроскопический анализ песков, известняка проводился на микроскопе LEO 1430VP. Рентгенограммы сняты на приборе D8 Advance в БИП СО РАН. Растворы перед проведением анализов фильтровались через мембранные фильтры с микропорами 0,22 мкм, подкислялись азотной кислотой марки хч. Пробы для анализа методом атомной абсорбции предварительно разбавлялись в 20 раз, МС ИСП – не разбавлялись.

Эксперимент по выщелачиванию проводился с использованием двух образцов песков отобранных в разных частях Джидинского хвостохранилища, в поровых водах которых содержится разное количество серной кислоты (фильтрат 1и фильтрат 2).

рН растворов в отсеках экспериментальной трубы в начале эксперимента с низкими значениями рН фильтрата 1 составило от 4.47 до 4.7 (рисунок 2а), фильтрата 2 – от 3.35 до 5.26 (рисунок 2б), а в конце эксперимента от 6.17 до 6.64, от 5.37 до 6.4 соответственно.

По результатам измерения рН можно заключить, что в поровых водах находится ограниченное количество кислот, которые вымываются при промывании их 9 - 35 литрами воды в зависимости от начальной концентрации в песках. С учетом объема песков взятых для промывания можно считать, что для вымывания кислоты достаточно объема промывных вод равному трехкратному объему песков. При небольшом содержании кислот в поровых водах известняк не оказывает значительного влияния на рН растворов, а при кислых поровых водах воздействие известняка на изменение рН заметно. Уже в первом отсеке рН изменяется с 3.3 до 4.5.

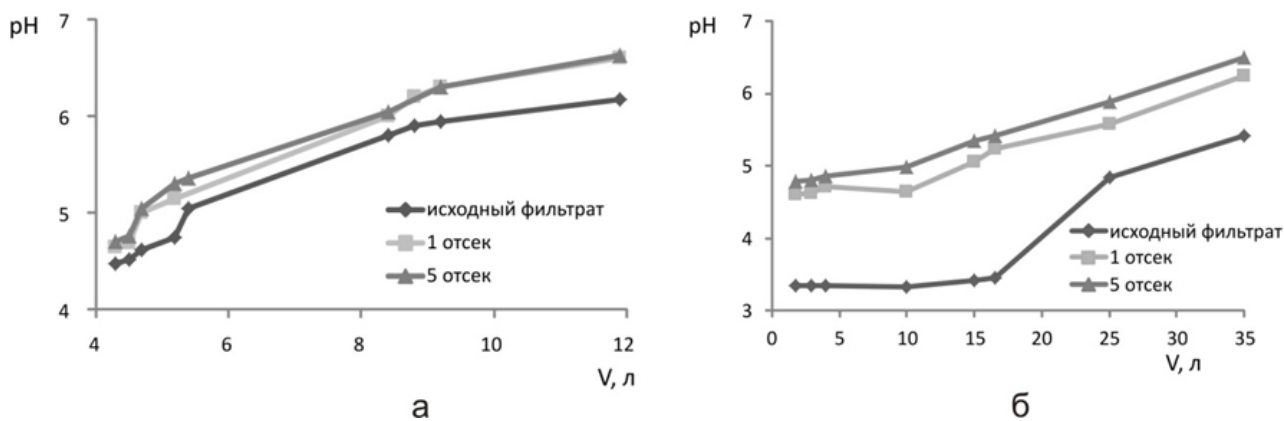


Рисунок 2. Изменение рН растворов в отсеках в зависимости от пропущенного объема: а – фильтрата 1, б – фильтрата 2.

Химический состав промывных вод складывается из суммы разных форм миграции химических элементов. Формы их нахождения меняются в процессе эксперимента. Так в процессе эксперимента железо меняет свою степень окисления. Первоначально он находится в степени окисления +2. Основной формой его нахождения в растворе являются сульфат железа. При попадании в горизонтальную колонку с известняком под воздействием кислорода воздуха железо окисляется до +3. В результате его гидролиза выпадают гидроокислы, образуется серная кислота и уменьшается рН. Общее содержание серы в пробах инфильтрующейся воды, определенное методом ИСП МС, больше, чем концентрация серы в форме сульфат-иона. Это может быть связано с тем, что она может присутствовать в растворе в форме полиитонат-ионов, тиосульфат-иона. В растворе методом ИСП МС установлены более высокая концентрация кремния, чем определенное фотометрическим методом содержание H_2SiO_3 . Вероятно, миграция кремния происходит в полимерной форме. Постепенно эта форма миграции заменяется на мономерный кислотный остаток, который взаимодействует с известняком и кремний удаляется из раствора в форме силиката кальция.

Содержание кальция, марганца, цинка и меди в растворах отсеков колонки первоначально повышаются по сравнению с исходными фильтратами (~ на 2-8 %), затем падает (рисунок 3). Возрастание концентрации кальция в растворе происходит за счет кислотного разложения известняка. Уменьшение рН приводит к интенсификации этого процесса и соответственно возрастанию содержания кальция в растворе, что приводит к достижению равновесия относительно гипса и флюорита. В результате этого в 5 отсеке в растворе падает содержание кальция, сульфата и фторида.

Содержание микроэлементов в инфильтрационных водах разное, наиболее высокими концентрациями характеризуется алюминий, цинк, марганец, железо, медь, кадмий. Их концентрация в отдельных пробах достигает значений более 1 г/л.

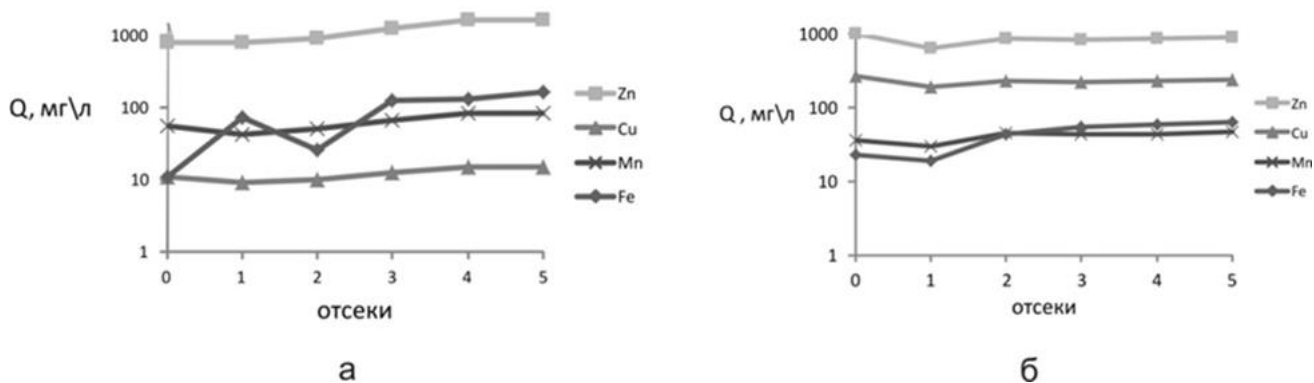


Рисунок 3. Содержания марганца, цинка, меди и железа в растворах отсеков колонки: 0 – концентрация микроэлемента в исходном фильтрате: а – фильтрата 1, б – фильтрата 2.

На рисунке 3 приведено распределение их концентраций по отсекам. Изменения концентрации в отсеках отмечается только для железа. Содержание цинка, меди, марганца в условиях эксперимента в отсеках находится на одинаково высоком уровне.

Отмечаются высокие концентрации лантаноидов в растворе, некоторые из них достигают миллиграммовых значений (рисунок 4). Содержание РЗЭ в отсеках находилось в прямой зависимости от исходной концентрации РЗЭ в фильтрате.

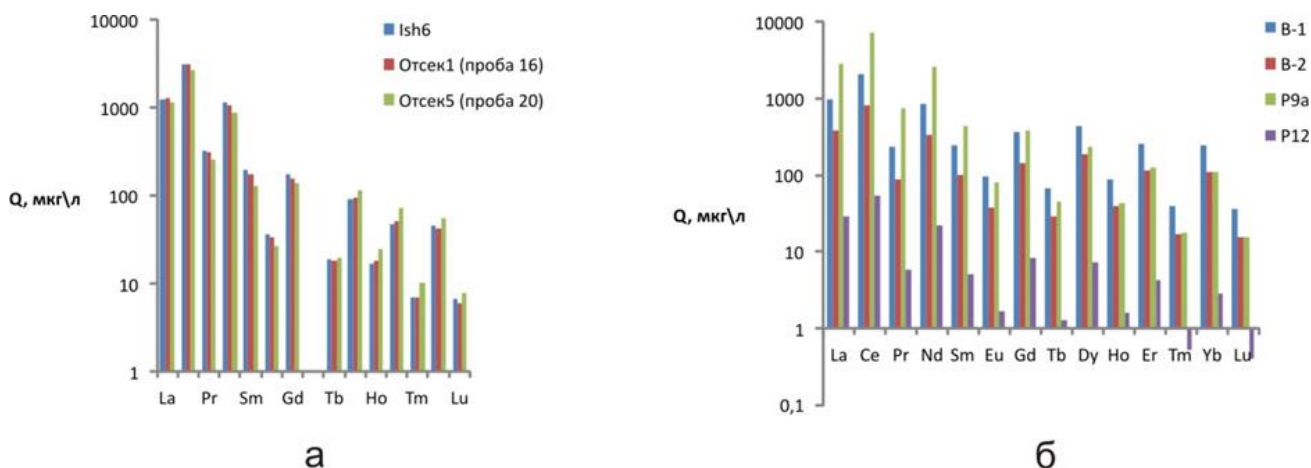


Рисунок 4. Содержание лантаноидов в исходных фильтратах и после контакта с известняком.

Отмечается преобладание легких лантаноидов над тяжелыми. В процессе эксперимента происходило изменение соотношения между ними, но интенсивного осаждения РЗЭ не произошло.

На микроснимках поверхности зерен известняка после воздействия фильтратов наблюдаются кристаллические осадки различных форм. Осадок чешуйчатой формы сложен из фторидов, сульфатов кальция, алюминия. Выделения цинка игольчатой формы идентифицируются как смитсонит, в них содержание цинка достигает 16.6 %. По данным химического анализа известняка, отобранного из отсеков в конце эксперимента, выявлено, что осаждению из раствора также подверглись ванадий, никель, медь, скандий и бериллий. Силикатный анализ показал, что в известняке накапливается оксид алюминия.

Поверхность известняка после продолжительного контакта с кислыми фильтратами приобретает сглаженную форму, теряет остроугольные края, покрывается слоем осадка светлых тонов. По результатам исследования осадка на электронном микроскопе установлено, что он состоит из водорастворимых солей натрия, магния, марганца, также, предположительно, аморфных соединений кальция, серы, алюминия, кремния, фтора. После взаимодействия с фильтратом 1 на поверхности известняка найдены кристаллы, содержащие цинк до 50 %. Содержание цинка и меди во всех остальных пробах варьировало до 3 %. Рентгенограмма осадка, отобранного после взаимодействия фильтратов с известняком, показала присутствие гипса и доломита.

Таким образом, экспериментальным путем подтверждена возможность нейтрализации кислых фильтратов хвостовых песков известняком с pH 3,35 до pH 6,64. Растворенные дистиллированной водой соли хвостовых песков образуют на поверхности известняка слой аморфных соединений серы, алюминия, кремния и фтора, с примесью цинка, меди, ванадия, никеля, скандия и бериллия. Повсеместно образовались кристаллы гипса с чешуйчатой, игольчатой формами. На небольшом участке образовались кристаллы с высоким (~50%) содержанием цинка. Повышение pH фильтрата ведет к концентрированию тяжелых редкоземельных элементов Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ГИН СО РАН по проекту № АААА-А21-121011890033-1, частично финансирование осуществлялось из бюджета Республики Бурятия по проекту №533 и НОЦ «Байкал».

Библиографический список

1. Плюснин А.М., Перязева Е.Г., Дабаева В.В., Жамбалова Д.И. Хвостохранилище для хранения отходов горнодобывающих предприятий. Патент на изобретение RU 2633051 С , 11.10.2017. Заявка № 2016112741 от 04.04.2016
2. Смирнова О.К., Плюснин А.М. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – 181 с.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Ахмеджанова Г.М. – 43;
- Баданина Е.В. – 199;
Барановская Н.В. – 139;
Бондаревич Е.А. – 143;
Борзенко С.В. – 107;
- Василенко Е.А. – 171;
Вершкова Е.М. – 139;
Викентьев И.В. – 48;
Волкова Е.В. – 199;
Воропаева Е.Н. – 65;
- Гадиятов В.Г. – 34;
Горячев Н.А. – 40;
Груздев Р.В. – 150;
- Дамдинов Б.Б. – 43; 48;
Дамдинова Л.Б. – 43; 48; 75;
Дорошкевич С.Г. – 112;
- Еремин О.В. – 103; 116; 121;
- Зима Ю.В. – 146;
Зинчук Н.Н. – 53; 59;
- Казакова А.А. – 139;
Комогорцева И.А. – 107;
Константинов А.В. – 175;
Корсун О.В. – 187;
Котельников А.Р. – 43;
Коцюржинская Н.Н. – 143;
Кузьминых Е.Н. – 178;
- Лескова О.А. – 143;
- Макаров В.П. – 146;
Макрыгина В.А. – 83;
Мельников А.В. – 65;
Миронова Е.В. – 70; 88; 94;
Михайлова Л.А. – 139; 143;
Молокеев А.К. – 202;
Мороз П.В. – 187; 194;
Мунконов Э.Ч-Д. – 75;
Мурзинцева А.Е. – 162;
- Непомнящих А.И. – 83;
- Плюснин А.М. – 205;
- Реутский В.Н. – 48;
Русаль О.С. – 116;
- Салихов В.С. – 78;
Санжанова С.С. – 205;
Серебренникова Н.В. – 125;
Смирнова О.К. – 99; 112;
Стасевич И.О. – 202;
Сук Н.И. – 43;
Сырицо Л.Ф. – 199;
- Трубачев А.И. – 166;
- Убугунова В.И. – 128;
- Федоров А.М. – 83;
Федоров И.А. – 107;
Филенко Р.А. – 94; 99; 133;
- Чередова Т.В. – 112;
- Шумилова Л.В. – 156;
- Эпова Е.С. – 103; 121;
- Юргенсон Г.А. – 10; 70; 83; 88; 94;
99; 103; 121; 133; 150; 171; 187; 194;

Научное издание

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

Труды IX-го Всероссийского симпозиума с международным участием
и XVI-х Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана

26 августа – 2 сентября 2023 г., Чита, Россия

Сборник издается в соответствии с оригиналом,
подготовленным редакционной коллегией при участии издательства

Верстка *Н.С. Балув*

Дизайн обложки *Н.С. Балув, Г.А. Юргенсон*