

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ**

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

*Подсекция
геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых*

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Старостин В.И.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2025

Содержание:

1. Введение в квантовую геологию минеральных ресурсов В.И.Старостин, Г.В. Мышинский	2
2. Возрастные спектры запасов меди в месторождениях важнейших типов А.Л. Дергачев	5
3. Пинигинское золоторудное месторождение (центральный Алдан) – новый для России тип А.С. Якубчук	7
4. Буруктальское месторождение: вещественный состав руд и сравнение с зарубежными месторождениями никеленосных кор выветривания А.А. Борисов, М.А. Богуславский	8
5. Турмалины золоторудного месторождения Наседкино (Восточное Забайкалье) М.А. Богуславский, И.А. Бакшеев	14
6. Выделение метасоматической зональности на месторождении Наседкино с применением методов ООС и портативного XRF А.Е. Таришка, М.А. Богуславский	17

ВВЕДЕНИЕ В КВАНТОВУЮ ГЕОЛОГИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

В.И. Старостин¹, Г.В. Мышинский²

¹*Московский государственный университет, Москва*

²*Объединенный институт ядерных исследований*

В локальных областях ионизированной, газовой или жидкой плазмы, электроны в которой движутся однонаправлено и имеют плотность $\rho \geq 10^{21} \text{ см}^{-3}$, формируются сильные магнитные поля $B > 30 \text{ Тл}$. В таких полях изменяется электронная структура атомов, происходит автоматическое спаривание электронов в ортобозоны с общим спином $S=1\hbar$. Электронные ортобозоны образуют конденсат Бозе-Эйнштейна, который обладает ультрасильным магнитным полем в диапазоне $B_s^R \sim 10^5 - 10^{10} \text{ Тл}$. Атомы превращаются в трансатомы. Трансатомы притягиваются друг к другу. Электронные Бозе-Эйнштейна конденсаты трансатомов объединяются в один общий ЭБЭК. Их трансядра формируют ядерную трансмолекулу, в которой происходят многоядерные реакции трансмутации. Тем самым вероятность ядерных реакций, имеющих сечение $\sim 10^{-24} \text{ см}^2$, определяется атомными превращениями, происходящими с сечениями $\sim 10^{-16} \text{ см}^2$.

В сильных магнитных полях у атомных электронов появляется третье пространственное осцилляционное квантовое число $n_b=1,2,3\dots$. Появление нового квантового числа приводит к тому, что в атоме водорода и в других водородоподобных атомах возникают новые электронные основные состояния. Энергия основного состояния трансводорода с осциллирующим электроном при $n_b=1$ равно $E_H^T = -40.8 \text{ эВ}$, а его радиус будет в три раза меньше, чем у обычного водорода r_H , т.е. $r_H^T \approx 0.018 \text{ нм}$. Для других водородоподобных трансатомов в основных состояниях и при $n_b=1$ их радиусы будут уменьшаться обратно пропорционально заряду ядра $\sim 0.018/Z \text{ нм}$, а энергии связи их электронов будут увеличиваться как $40.8 \cdot Z^2 \text{ эВ}$.

Благодаря появлению в сильном магнитном поле у двух электронов осцилляционных квантовых чисел противоположного знака $n_{b1}=-n_{b2}$ и обменному кулоновскому взаимодействию, два электрона в атоме гелия спариваются в ортобозон с $S=1\hbar$. Атом гелия превращается в трансгелий. В ортобозоне энергия обменного кулоновского взаимодействия двух электронов полностью компенсирует их кулоновское отталкивание. Реализуется парадокс: “Волны гасят Ветер”. Наряду с этим парадоксом проявляется другой парадокс: происходит разрыв волновых функций электронов на спиновую и пространственную части.

Кроме того, обменные взаимодействия между тождественными частицами на длинах волн де Броиля превращают короткодействующее сильное и локальное слабое взаимодействия в дальнодействующие взаимодействия.

Трансводород и трансгелий благодаря направленным магнитным моментам электронов μ_e обладают собственными сильными и сверхсильными магнитными полями. Эти поля соединяют тождественные трансатомы в трансмолекулы. Трансядра в таких трансмолекулах попарно соединяются в ядерные ортобозоны. В ядерных ортобозонах, так же как в электронных ортобозонах, кулоновское отталкивание между тождественными трансядрами отсутствует, поэтому становятся возможны магнитоядерные реакции без кулоновского барьера.

Новые основные состояния в трансводороде, в ионе трансгелия и в атоме трансгелия: $E_H^T = -40.8$ эВ, $E_{He^+}^T = -163.2$ эВ, $E_{He}^T = -326.4$ эВ, позволили поместить начало рекомбинации электронов с протонами и ядрами гелия в эпоху Фотонов в хронологии Вселенной через 10^4 секунд после Большого Взрыва (БВ), когда температура абсолютной плазмы Вселенной составляла 10^6 К, а ее энергия 100 эВ. Тогда же магнитоядерные реакции дали старт нуклеосинтезу во Вселенной с наибольшим выходом атомов углерода, азота, кислорода.

Поэтому после окончания эпохи Рекомбинации в хронологии Вселенной через 380000 лет после БВ, когда температура космической плазмы составляла ~ 4000 К или $\sim 0,4$ эВ, наступил период синтеза из атомов углерода, азота, кислорода при подавляющем их окружении атомами водорода самых разнообразных органических молекул, как самых простых, так и высокомолекулярных. Практически сразу, параллельно органическому синтезу происходил синтез биологических молекул: аминокислот и нуклеиновых кислот – строительных блоков для белков и ДНК Живой материи. Органическое и биоорганическое вещество после периода Рекомбинации многократно преобладало над неорганическим веществом. Тем самым биоорганическое вещество и Живая материя заполнили собой всю раннюю Вселенную, образуя Зародыши жизни для будущих планет в звездных системах.

В сильных магнитных полях у всех атомных электронов разрываются $\ell+s$ и $j+j$ связи. Благодаря появлению у электронов осцилляционных квантовых чисел, обменному кулоновскому взаимодействию и эффекту внутриатомного магнитного резонанса атомные электроны спариваются в ортобозоны с последующим образованием из них конденсата Бозе-Эйнштейна. Атомы превращаются в трансатомы. Электронные конденсаты Бозе-Эйнштейна формируют ультрасильные магнитные поля в диапазоне 10^5 – 10^{10} Тл, которые соединяют трансатомы в трансмолекулы. Трансатомы являются спиновой и магнитной материи. Трансядро с окружающим его электронным конденсатом Бозе-Эйнштейна образуют новое состояние материи: спиновый нуклидный электронный конденсат.

В трансмолекулах благодаря резонансному интерференционному обменному взаимодействию трансядра неизбежно вступают в многоядерные, безызлучательные, низкоэнергетические реакции: реакции холодного ядерного синтеза и в реакции

низкоэнергетической трансмутации химических элементов. РИО-взаимодействие происходит между нетождественными объектами, в том числе между трансядрами, если они, не теряя индивидуальность, образуют связанную составную систему, которая имеет общие резонансные R-состояния. В R-состояниях на длинах волн де Броиля интерфеcируют как волновые функции всех трансядер, составляющих трансмолекулу, так и все взаимодействия: сильное-слабое, электромагнитное, инерционно-гравитационное. В R-состояниях сильное и слабое взаимодействия становятся дальнодействующими, а их действия синхронизируются.

В реакциях трансмутации ядерная физика от описания резонансных переходов в отдельных ядрах и от описания взаимодействия между двумя ядрами осуществила переход к коллективным нуклидным взаимодействиям. РИО-взаимодействие является универсальным взаимодействием, поскольку не только объединяет все фундаментальные взаимодействия, но еще и потому, что ее действия распространяются на всю Природу, начиная от элементарных частиц и кончая сложными биологическими и социальными системами. Непрерывно происходящие в конденсированной среде реакции трансмутации приводят к квазиравновесному распределению по массовым числам изотопов – продуктов реакций. Принимая во внимание, что процессы низкоэнергетической трансмутации протекают в достаточно “мягких” физических условиях и стремятся воспроизвести квазиравновесное распределение, из представленного выше материала был сделан вывод о возможности осуществления нуклеосинтеза в звездах и на планетах с формированием их элементного состава в результате процессов трансмутации. Квазиравновесные распределения отражают распространенность химических элементов и их изотопов в разных объектах и областях Вселенной.

Предсказанные выше новые явления и эффекты дают основание начать целенаправленные работы, связанные как с фундаментальными, так и с прикладными исследованиями в области низкоэнергетических ядерных реакций. Открытие низкоэнергетических ядерных реакций и нового резонансного интерференционного обменного взаимодействия, наряду с обнаружением и описанием фрактальной геометрии природы, с наблюдением инерционных и информационных взаимодействий, с созданием искусственного интеллекта, позволили нам заявить о начале новой научной революции, о смене парадигмы в науке. Происходящая смена парадигмы предполагает появление новых научных дисциплин и создание самых передовых технологий. Выявленная новая парадигма дала старт формированию нового мировоззрения, новых мировых технологического и социально-экономического укладов, ускоренному преображению Человека и, следовательно, созданию новой цивилизационной парадигмы всего Человечества.

ВОЗРАСТНЫЕ СПЕКТРЫ РЕСУРСОВ МЕДИ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВАЖНЕЙШИХ ТИПОВ

А.Л. Дергачев¹

¹*Московский государственный университет, Москва*

Процессы рудообразования, по крайней мере, в пределах определенных участков земной коры, являлись эпизодическими процессами. С этим связан интерес к изучению металлогенических эпох и провинций и геологических причин, следствием которых они являются. Это требует выяснения закономерностей распределения месторождений и запасов руд того или иного типа в истории геологического развития Земли.

Первым шагом к этому является составление баз металлогенических данных, в которых накапливаются сведения о генезисе, возрасте месторождений, их запасах руд и металлов, геохимических и минералогических и др. особенностях, позволяющих отнести их к одному из мировых типов, связи с той или иной металлогенической провинцией и т.д. Составляется, в частности, база данных по месторождениям Си разных типов. На сегодняшний день она включает сведения о почти 1700 месторождениях медных и медьсодержащих руд, относящихся к трем главным мировым типам. В численном отношении в ней преобладают вулканогенные колчеданные месторождения (тип VMSD; 70% месторождений), менее многочисленные группы образуют медно-порфировые (19%) и месторождения меди в осадочных породах (11%). Суммарные ресурсы, заключенные в рудах этих месторождений, составляют чуть менее 1770 млн т Си, из которых на месторождениях трех указанных типов сосредоточено 10, 17 и 73% соответственно.

Для исследования динамики металлогенических процессов использовались случайные выборки фиксированной длины (примерно 1000 месторождений), формируемые на основе базы данных, и графики числа месторождений и ресурсов Си, образовавшихся за 1 млн лет, в зависимости от возраста (графики функции плотности вероятности – ФПВ). Для этих целей использовались процедура бутстрэппинга и сглаживание получаемых графиков с помощью окна сглаживания с гауссовым профилем шириной 50 млн лет, что позволяет получать плавную форму сглаженной ФПВ случайной выборки. Полученные графики по сути представляют собой возрастные спектры месторождений и ресурсов меди.

График ФПВ ресурсов Си демонстрирует ряд отчетливых пиков, в некоторых случаях, образующих кластеры, которые лучше выражены, остаются устойчивыми при разной ширине окна сглаживания (от 10 до 200 млн лет), и как правило, состоят из нескольких пиков.

Анализ графиков ФПВ ресурсов и месторождений показывает, что в истории Земли медь была одним из первых металлов, накопление ресурсов которого началось около 3240 млн л.н. с

появления древнейших медно-порфировых и вулканогенных колчеданных месторождений. Однако до 2200 млн л.н. форма графиков ФПВ с пиком на 2710 млн л.н. обусловлена почти исключительно формированием довольно многочисленных месторождений типа VMSD.

Лишь после 2200 млн л.н. появились первые месторождения меди в осадочных породах, которым отвечают важные пики на графике ФПВ ресурсов металла на 2160 и 2102 млн л.н. С этого времени и практически до начала палеозоя эпохи образования месторождений двух типов чередуются в геологической истории без наложения пиков, хотя единичные небольшие месторождения порфирового типа в этот период также формировались. Отчетливый пик на 1896 млн л.н. обусловлен вспышкой рудообразования типа VMSD, после которой такие месторождения практически не возникали до 600 млн л.н. Пики на графике ФПВ ресурсов на 1506, 1425, 1062 и особенно крупный кластер в интервале 915–720 млн л.н. обусловлены неоднократно возобновлявшимися в течение "колчеданной паузы" процессами образования месторождений меди в осадочных породах.

В фанерозойское время объединяемые в крупный кластер пики на 482, 432, 397, 366 млн л.н. обусловлены сближенными во времени проявлениями рудообразования типов VMSD и порфирового типа. Однако после 320 млн л.н. на непродолжительное время практически прекращается образование вулканогенных, а после 275 млн л.н. – и медно-порфировых месторождений. Минимумам рудообразования обоих типов, как и в предшествовавшие эпохи, отвечает крупный пик на 254 млн л.н., который соответствует последней значительной, но краткой эпохе образования месторождений меди в осадочных породах (пермских месторождений типа "купфершифер"). В дальнейшем крупный кластер с пиками на 205, 159, 109 млн л.н. получается за счет наложения практически совпадающих во времени пиков рудообразования порфирового и VMSD типов. Начиная примерно с 330 млн л.н. процессы формирования медно-порфировых месторождений впервые превосходят рудообразование типа VMSD продуктивности, а в запасах с возрастом моложе 100 млн лет медно-порфировый тип уже резко преобладает в отношении при накоплении ресурсов Cu.

Распределение пиков продуктивности накопления ресурсов меди на графике ФПВ определяется цикличностью тектонического развития Земли, периодически возобновляющимися в геологической истории вспышками рудообразования трех важнейших типов, различиями геодинамических режимов, благоприятствовавших образованию крупных ресурсов и многочисленных месторождений того или иного типа, появлением новых типов рудообразования в геологической истории планеты и процессами эксгумации месторождений.

ПИНИГИНСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЛДАН) – НОВЫЙ ДЛЯ РОССИИ ТИП

А.С. Якубчук¹

¹*Московский государственный университет, Москва*

Пинигинское месторождение в Южной Якутии – один из первых для России значимых примеров золотого оруденения в раннедокембрийских метаморфических комплексах. На Алданском щите Сибирского кратона, испытавшего тектоно-магматическую переработку в мезозое, известно несколько таких проявлений, которые обычно интерпретируются как мезозойские. Однако пространственная приуроченность золоторудной минерализации Пинигинского месторождения к метагаббро и его контактам с высокометаморфизованными гранатовыми и пироксеновыми гнейсами и секущее по отношению к ним положение мезозойских неметаморфизованных пострудных мафитовых даек не вызывает сомнения. Тем не менее, месторождение нуждается в детальном изучении геологических особенностей и точной геохронологической датировке.

По состоянию на 2018 год на основании 134 скв (13 939.9 м) Пинигинское месторождение состояло из двух минерализованных участков (Кур и Притрассовый) с общими запасами С1+С2 около 3.5 т золота с содержаниями 6-7 г/т. В 2022 году по аналогии с прошлым опытом работы с такими объектами в Канаде и Австралии мной была предложена новая поисковая модель строения этих участков, предполагающая наличие богатых рудных столбов, распространяющихся на глубины свыше 200 м. Буровой программой 2023-2025 гг (+45 000 м в 185 скв), продолжающейся на момент доклада, полностью было подтверждено наличие таких столбов, на основании чего ожидается многократное увеличение запасов золота, большая часть из которых будет пригодна для подземной отработки.

БУРУКТАЛЬСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ: ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД
И СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ МЕСТОРОЖДЕНИЯМИ НИКЕЛЕНОСНЫХ
КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

А.А. Борисов¹, М.А. Богуславский¹

¹*Московский государственный университет, Москва*

Месторождения никеленосных кор выветривания являются ведущими по количеству мировых запасов никеля (63 %) и кобальта (58 %). Подобные месторождения связаны с выветриванием магматических массивов основного и ультраосновного состава.

Определение типа профиля коры выветривания – один из ключевых вопросов при освоении месторождений латеритного никеля, поскольку распределение и соотношение типов руд в разрезе оказывает непосредственное влияние на выбор технологии переработки. В работе представлены исследования вещественного состава крупнейшего в РФ месторождения силикатного никеля – Буруктальского. Для выявления основных закономерностей строения коры выветривания проведен анализ химического и минерального состава.

Согласно классификации по типу профиля коры выветривания, предложенной рядом исследователей [5,10], месторождения латеритного никеля делятся на три группы: силикатные, глинистые и железистые.

Зарубежные месторождения никеленосных кор выветривания широко распространены в странах экваториального и субтропического пояса, где климатические условия благоприятствуют интенсивному развитию процессов корообразования. Основные запасы никелевых руд в корах сконцентрированы в Новой Кaledонии, Индонезии, Филиппинах, Австралии, Бразилии и Кубе.

Ниже приведена сравнительная таблица химического состава никелевых руд в Буруктальского и других месторождений. В работах некоторых исследователей (De-qing, König и др.) по причине конфиденциальности сведений не представлено конкретное месторождение, но указан регион его находления. В таблице также указаны различные типы профилей никеленосных кор выветривания: О – окисленные, С – силикатные, Г – глинистые.

По содержаниям основного полезного компонента руды Буруктальского месторождения можно охарактеризовать как бедные: среднее содержание никеля в них в полтора – два раза ниже по сравнению с зарубежными месторождениями никеленосных кор выветривания. На месторождениях силикатной группы содержание никеля выше 1.25 %, наибольшие концентрации (более 2 %) характерны для глинистого профиля выветривания. Содержание никеля 0.86 % на Буруктальском месторождении является самым низким среди рассматриваемых объектов.

Таблица 1

Химический состав руд месторождений латеритного никеля

Месторождение	Тип	Содержание, %							
		Ni	Co	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO
Буруктальское	C	0.86	0.09	40.7	32.3	9.8	4.8	1.4	0.4
Горо, Новая Каледония (Wells, 2022)	O	2.35	0.10	15	55.5	6.2	3	4.1	1.1
Индонезия, (De-qing, 2012)	O	0.97	0.10	12.5	57.3	4.6	6.5	2.9	0.8
Новая Каледония, (König, 2021),	O	1.6	0.08	31.3	54.3	3.7	-	-	-
Тагаунг Таунг Мьянма (Chen, 2017)	C	2.7	0.045	43.9	19.2	17.7	3.2	-	0.2
Помалаа, Индонезия (Abidin, 2019)	C	1.89	-	33.2	35.3	14.6	2.8	1.2	0.4
Соровако, Индонезия, (Husain, 2020)	C	2.67	0.19	25.4	45.8	6.8	3.5	2.34	0.97
Зимбабве, (Wang, 2024)	C	1.25	0.017	39.7	10	32.4	0.07	0.3	0.01
Муррин Муррин, Австралия (Gaudin, 2004)	Г	2	-	49	20	3.2	6.2	1.9	-
Булонг, Австралия (McDonald, 2020)	Г	2.42	0.16	18.5	35.1	5.47	4.7	1.17	0.65

Средние содержания оксида кобальта на различных месторождениях никеленосных кор различаются в пределах от 0.01 % до 0.2 %. Содержание Co 0.09 % в рудах Буруктальского месторождения аналогично группе месторождений окисленного типа (0.08-0.1 %).

Содержание кремнезема в рудах Буруктальского месторождения (40.7 %) одно из самых высоких. По количеству SiO₂ буруктальские руды аналогичны рудам некоторых силикатных (Тагаунг Таунг – 43.9 %) и глинистых (Муррин Муррин – 49 %) никеленосных кор выветривания.

По содержанию Fe₂O₃ (32 %) Буруктальское месторождение можно исключить из группы профилей окисленного типа, для которых характерно присутствие оксида железа в количестве более 50 %. Руды с близкими содержаниями оксида железа есть и в группе силикатных (Помалаа – 35.3 %), и в группе глинистых (Булонг - 35.1 %) месторождений.

По содержанию оксида магния в количестве 9.8 % Буруктальское месторождение относится к силикатному типу профиля, для которого характерно присутствие магния от 7 до 35 %. Содержание магния в рудах окисленного профиля значительно ниже: от 3 до 6 %, аналогично и в рудах глинистого типа: от 3 до 5 %.

Таким образом, по химическому составу, а именно по соотношению содержаний оксидов железа, магния и кремнезема, руды Буруктальского месторождения могут быть отнесены к силикатным.

В таблице 2 представлен минеральный состав руд различных месторождений никеленосных кор выветривания.

Таблица 2

Минеральный состав руд месторождений латеритного никеля

Месторождение	Тип	Содержание минерала, %								
		gh	hm	mt	no	ol	srp	cr	qtz	cl
Буруктальское	С/Г	7	5	20	13	-	27	-	17	5
Индонезия, (De-qing, 2012)	О	77	3	-	-	13	-	3	0.9	-
Новая Каледония (König, 2021)	О	46	1	-	-	7	17	-	18	-
Помала, Индонезия (Abidin, 2019)	С	13	-	-	-	-	60	-	10	22
Зимбабве (Wang, 2024)	С	3	-	-	-	19	64	6	1	-
Австралия (Skinner, 2015)	Г	27	3	-	19	9	-	-	36	-
Булонг, Австралия (McDonald, 2020)	Г	26	-	9	55	-	-	-	3	3

*gh – гётит, hm – гематит, mt – магнетит, no – нонtronит, ol – оливин, srp – серпентинит, cr – хромит, qtz – кварц, cl – хлорит

Минеральный состав латеритных никелевых руд закономерно меняется в зависимости от типа профиля выветривания.

Для месторождений железистого профиля (Индонезия, Новая Каледония) характерно высокое содержание оксидов и гидроксидов железа, слагающих зону охр: гетита и гематита (от 46 до 80 %).

На месторождениях силикатного типа (Помалаа, Зимбабве) в составе преобладают силикаты: от 60 до 64 % серпентинита и от 19 % оливина.

Отличительная особенность месторождений глинистого профиля: присутствие нонtronита в количестве от 13 до 55 %.

Магнетит не характерен для никеленосных кор выветривания, однако в рудах Буруктальского месторождения концентрация этого минерала достигает 20 %. Подобное высокое

содержание магнетита может быть обусловлено поступлением кислорода из окружающей среды при кристаллизации расплава.

Магмы с массовым содержанием $\text{SiO}_2 > 47\%$, к которым относятся ультрамафиты, не выделяют собственного свободного кислорода из-за того, что, в них весь кислород связывается и удерживается кремнием, то есть целиком тратится на создание силикатных соединений, оставаясь в основном в кремнекислородных тетраэдрах. Поэтому при кристаллизации этих магм в закрытых условиях образуются практически безоксидные горные породы. Появление оксидных соединений возможно при кристаллизации таких магм в открытых условиях, в случае поступления в них кислорода из окружающей среды. Именно за счет этого кислорода образуется большая часть магнетита и его скоплений, в основных и ультраосновных породах [2].

Данные, полученные в результате исследований, уточняют вещественный состав руд и позволяют определить тип профиля коры выветривания Буруктальского месторождения.

Анализ химического состава показал, что основными компонентами руд месторождения являются оксиды кремния (40.7 %), железа (22.6 %) и магния (9.8 %).

По содержанию главного полезного компонента - никеля (0.86 %) Буруктальское месторождение является самым бедным среди всех рассматриваемых в работе месторождений никеленосных кор выветривания. По содержанию кобальта (0.09 %) руды Буруктальского месторождения занимают усредненное положение по сравнению с прочими объектами, в которых количество этого металла варьирует от 0.01 до 0.2 %.

В минеральном составе руд преобладают минералы группы серпентина (27 %), магнетит (20 %), кварц (17 %) и минералы группы монтмориллонита (13 %).

По результатам проведенных исследований вещественного состава тип профиля коры выветривания Буруктальского месторождения определен как смешанный глинисто-силикатный в соответствии с международной классификацией. Невысокое содержание оксидов и гидроксидов железа (12 %) при большем количестве серпентина (27 %) соответствует силикатному типу коры. В то же время присутствие гидрослюд (в первую очередь нонtronита) в количестве 13 % характерно для глинистого профиля никеленосных кор.

Одно из ключевых отличий руд Буруктальского месторождения от других никеленосных кор выветривания – магнетит (20 %), присутствие которого не характерно для месторождений латеритного никеля. На Буруктальском месторождении этот устойчивый к выветриванию минерал образовался в большом количестве, вероятно, за счет поступления кислорода из внешней среды при формировании магматического расплава.

Низкое содержание никеля и наличие на Буруктальском месторождении особенностей коры выветривания с чертами как глинистого, так и силикатного профиля, предопределяет сложность выбора процессов обогащения.

Высокое содержание магния в рудах делает неэффективной технологию сернокислотного выщелачивания под высоким давлением (HPAL), наиболее широко используемую в последние годы на месторождениях латеритного никеля, что говорит о необходимости поиска новых технологий для переработки руд Буруктальского месторождения. Среди потенциально перспективных технологий для переработки бедных силикатных никелевых руд Буруктальского месторождения можно выделить пирометаллургические: электроплавку и плавку в печах барботажного типа (печь Ванюкова), а также гидрометаллургические: кучное и агитационное выщелачивание.

Список литературы

1. Борисов А. А., Богуславский М. А. Факторы формирования Буруктальского месторождения силикатного никеля // Вестник МГУ, серия геология. 2025
2. Лихачев А. П. Условия образования магнетита и его рудных скоплений // Отечественная геология. 2017. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/usloviya-obrazovaniya-magnetita-i-ego-rudnyh-skopleniy>
3. Рыжкова С. О., Таловина И. В., Лазаренков В. Г., Воронцова Н. И., Уголков В. Л. Никеленосные оксиды железа Буруктальского месторождения, Южный Урал // Записки Горного института. 2009. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nikelenosnye-oksydy-zheleza-buruktalskogo-mestorozhdeniya-yuzhnyy-ural>
4. Устинов И. П., Лосев Е. И. Отчет о результатах геологоразведочных работ, проведенных на Буруктальском никель-cobальтовом месторождении в Светлинском районе Оренбургской области в 1950-1968 гг. 1968 г. – 257 стр.
5. Elias M. Nickel laterite deposits – geological overview, resources and exploitation // In: Giant Ore Deposits: Characteristics, genesis and exploration, eds DR Cooke and J Pongratz. CODES Special Publication 4, Centre for Ore Deposit Research, University of Tasmania, pp 205-220., 2002
6. Chen Y., Zhao H., Wang C. Two-stage reduction for the preparation of ferronickel alloy from nickel laterite ore with low Co and high MgO contents. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. Volume 24, Number 5, May 2017, Page 512
7. Gaudin, Anne & Grauby, Olivier & Noack, Yves & Decarreau, Alain & Petit, Sabine. Accurate crystal chemistry of ferric smectites from the lateritic nickel ore of Murrin Murrin (Western Australia). I. XRD and multi-scale chemical approaches. Clay Minerals - CLAY MINER. 39. 301-315, 2004

8. Marshall, D., Buarzaiga, M. Effect of magnesium content on sulphuric acid consumption during high pressure acid leaching of laterite ores. International Laterite Nickel Symposium. 2004, 307-316.
9. McDonald, Robbie & Li, Jian. The High Temperature Co-Processing of Nickel Sulfide and Nickel Laterite Sources. Minerals. 10. 351, 2020
10. Zappala, L., McDonald, R. and Pownceby, M. I. Nickel Laterite Beneficiation and Potential for Upgrading Using High Temperature Methods: A Review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 45(7), pp. 767–789. 2023
11. Zhu, De-qing & CUI, Yu & Sarath, Hapugoda & VINING, Keith & Pan, Jian. (2012). Mineralogy and crystal chemistry of a low grade nickel laterite ore. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 22. 907–916. 10.1016/S1003-6326(11)61264-8.
12. Martin A. Wells, Erick R. Ramanaidou, Md Zakaria Quadir, Malcolm Roberts, Julien Bourdet, Michael Verrall. Morphology, composition and dissolution of chromite in the Goro lateritic nickel deposit, New Caledonia: Insight into ophiolite and laterite genesis, Ore Geology Reviews, Volume 143, 2022
13. König, U. Nickel Laterites—Mineralogical Monitoring for Grade Definition and Process Optimization. Minerals 2021, 11, 1178.
14. Harjanto, Sri & Kawigraha, A & Permatasari, Nur. Characterization on particle size distribution of reduced lateritic nickel ore using biomass carbon reduction. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.
15. Wikipedia. Bulong Nickel Mine // https://en.wikipedia.org/wiki/Bulong_Nickel_Mine

ТУРМАЛИНЫ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАСЕДКИНО
(ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

М.А. Богуславский¹, И.А. Бакшев¹

¹Московский государственный университет, Москва

Общую формулу минералов надгруппы турмалина представляют в следующем виде $XY_3Z_6[T_6O_18][BO_3]_3V_3W$, где $X = \text{Na, Ca, K}$, вакансия; $Y = \text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Al, Ti}^{4+}, \text{Li}^+, \text{Fe}^{3+}, \text{Cr}^{3+}, \text{V}^{3+}$; $Z = \text{Al, Cr}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{V}^{3+}, \text{Mg, Fe}^{2+}$; $T = \text{Si}^{4+}, \text{Al}^{3+}, \text{B}^{3+}$; $B = \text{B}^{3+}$; $V = \text{OH}^-, \text{O}^{2-}$; $W = \text{OH}^-, \text{O}^{2-}, \text{F}^-$ [Henry et al. 2011].

Турмалин устойчив в широком интервале условий от низкотемпературных гидротермальных до высокоградных и высокобарических метаморфических и магматических условий. Он развит в магнезиальных скарнах, цвиттерах, грейзенах, кварц-турмалиновых метасоматитах месторождений олова, кварц-серицитовых метасоматитах Au-Mo-Cu и Sn порфировых месторождений, аргиллизитах эптермальных месторождений золота, пропилитах плутоногенных месторождений золота и талька, метасоматитах месторождений золота в докембрийских зеленокаменных поясах, метаморфизованных колчеданных месторождений и др.

Сочетание сложного химического состава, возможности широких химических замещений и широкого интервала обстановок формирования позволяет использовать турмалины как показатели режима образования рудных месторождений различного типа.

В настоящей работе описаны турмалины из золоторудного месторождения Наседкино. Генезис этого месторождения остается дискуссионным.

Месторождение Наседкино (Малоурюмское) расположено в Могочинском районе 56 км от районного центра г. Могоча, Забайкальского края. С геологической точки зрения месторождение относится к итака-могоча-кулинской рудной зоне золото-медно-молибденового пояса Восточного Забайкалья. В геологическом строении района месторождения принимают участие архейские переслаивающиеся лейкократовые и меланократовые пироксен-гранатовые гранулиты, кварц-биотит-плагиоклазовые гнейсы, часто с силлиманитом, гиперстеном, графитом, высокоглиноземные кристаллические сланцы и амфиболиты. Породы смяты в изоклинальные складки северо-западного простирания и прорваны дайками гранитоидов и порфиритов амананского и амуджиканского комплексов средней и поздней юры. Оруднение связано с юрскими гранитоидами.

Метасоматиты представлены скарнами, пропилитами, кварц-турмалиновыми породами и золотоносными березитами. Главным рудным минералом является пирит; второстепенные - халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, арсенопирит, молибденит, минералы висмута. Общее содержание рудных минералов варьирует от 1 до 30%, среднем около 15%. Среднее

содержание золота 3 г/т (Корчагина, 2021). Золото в основном приурочено к пириту и в меньшей степени к другим сульфидам; также оно наблюдается в кварце вне ассоциации с сульфидными минералами.

Кварц-турмалиновые метасоматиты развиваются по архейским гнейсам и плагиогнейсам. Метасоматиты сложены темно-зеленым турмалином, кварцем, хлоритом; второстепенными эпидотом и светлой слюдой, акцессорные - апатит, циркон, рутил. Также в пределах месторождения встречаются прожилки турмалина мощностью от нескольких миллиметров до 3 см, которые секут вмещающие гнейсы.

Изображения в отраженных электронах и составы минералов получены на сканирующем электронном микроскопе “Jeol” JSM-IT500 с комбинированной системой микроанализа на основе энергодисперсионного спектрометра “Inca Energy-350” со сверхтонким окном ATW-2 (площадь 10 мм^2 , разрешение 129 эВ) и волнового дифракционного спектрометра “Inca Wave-500” в лаборатории локальных методов исследования кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета МГУ. Определение составов турмалина производилось энергодисперсионным методом при ускоряющем напряжении 15 кВ и постоянном токе электронного зонда 20 нА, диаметр пучка электронов 3 мкм. Погрешность измерения главных и второстепенных элементов составила для оксида 1.5 и 5 отн. %. Для процедуры коррекции использованы ХРР поправки.

Турмалин метасоматитов месторождения Наседкино представлен оптически зональными кристаллами длиной от первых до 600 мкм (рис. 1а) и их радиально-лучистыми агрегатами. На фотографии в отраженных электронах также хорошо видна зональность в продольном сечении (рис. 1б): основание кристаллов более железистое, чем окончание. Подобная зональность отмечена в турмалинах Дарасунского месторождения (Baksheev et al., 2011). На треугольной диаграмме в координатах X-вакансия-Са-На(+К) большая часть составов находится в поле щелочных турмалинов (рис. 1в); три состава попадают в поле кальциевых турмалинов. На треугольной диаграмме Fe-Al-Mg (рис. 1г) составы турмалинов находятся ниже линии шерл-дравит и параллельно вдоль линии окси-дравит—бозит (или повондрайт). Положение ниже линии указывает на обедненность составов Al, что может быть вызвано обогащенностью турмалинов Ca или замещением части Al трехвалентным железом. В тоже время расположение параллельно линии окси-дравит—бозит (или повондрайт – ОП тренд) свидетельствует о повышенном содержании Fe^{3+} . Повышенное содержание Fe^{3+} указывает на повышенный окислительный потенциал минералообразующего флюида. Расположение составов параллельно линии окси-дравит—повондрайт описано для турмалинов золоторудных месторождений Дарасунского рудного узла (Baksheev et al., 2012), которые исследователи относят к золотопорфировым или вулканогенно-плутоногенным.

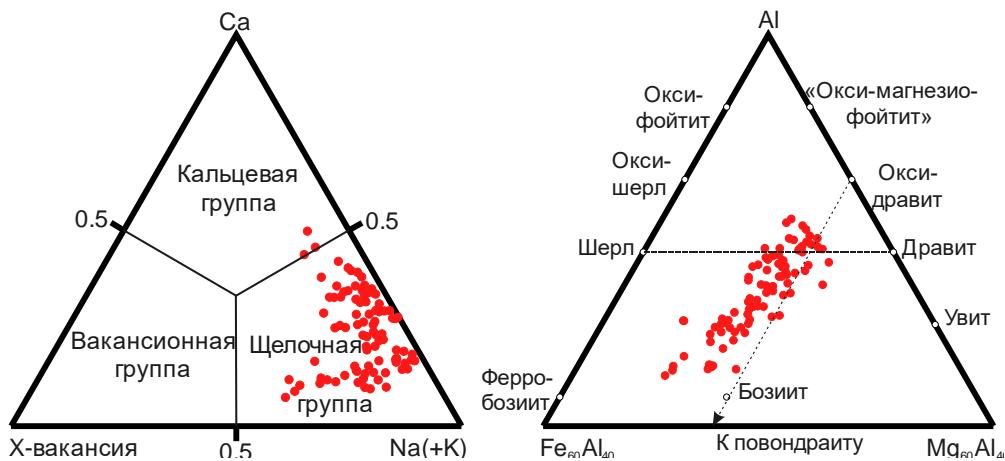
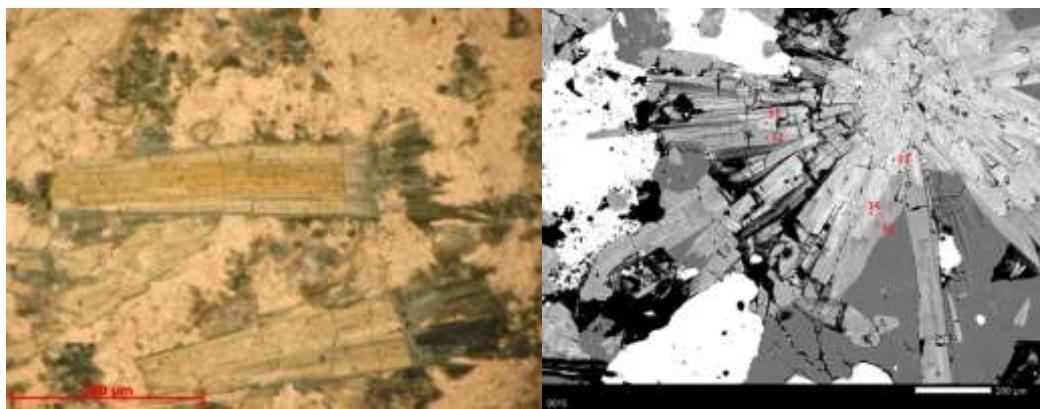


Рис. 1А. Турмалин в проходящем свете, николи параллельны.

Рис. 1Б. Фотографии в отраженных электронах кристалла турмалина.

Рис. 1В. Треугольная диаграмма Вакансия – Са –Na(+К) для турмалинов м-я Наседкино

Рис. 1Д. Треугольная диаграмма Fe – Al – Mg для турмалинов м-я Наседкино

Список литературы.

1. Baksheev I.A., Prokof'ev V.Yu., Zaraisky G.P., Chitalin A.F., Yapaskurt V.O., Nikolaev Y.N. Tikhomirov P.L., Nagornaya E.V., Rogacheva L.I., Gorelikova N.V., Kononov O.V. Tourmaline as a prospecting guide for the porphyry-style deposits.// Eur. J. Mineral., 2012. Vol. 24, no. 6, pp. 957-979.
2. Baksheev I.A., Prokof'ev V.Yu., Yapaskurt V.O., Vigasina M.F., Zorina L.D., Solov'ev V.N. Ferric-iron-rich tourmaline from the Darasun gold deposit, Transbaikalia, Russia // Can. Mineral. 2011, Vol. 49, Part 1. P. 263-276.
3. Henry D.J., Novák M., Hawthorne F.C., Ertl A., Dutrow B.L., Uher P., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals // American Mineralogist. 2011. Vol. 96. P. 895–913.
4. Henry, D.J., Sun, Haiting, Slack, J.F. & Dutrow, B.L. (2008): Tourmaline in meta-evaporites and highly magnesian rocks: perspectives from Namibian tourmalinites. Eur. J. Mineral. 20, 889-904.

ВЫДЛЕНИЕ МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАСЕДКИНО С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ООС И ПРОТАТИВНОГО XRF

А.Е. Таришка¹, М.А. Богуславский¹

¹*Московский государственный университет, Москва*

Месторождение золота и меди Наседкино расположено в Забайкальском крае. На данный момент специфика геологического строения и распределения полезного компонента на месторождении дискуссионна, однако известно о широком ореоле метасоматических изменений. Некоторые исследователи считают, что данное месторождение относится к медно-порфировому типу. В данной работе исследуется возможность решения проблемы выявления метасоматической зональности месторождения и взаимоотношения рудной минерализации с ней с помощью использования методик ООС и портативного XRF.

Метод ООС позволяет выделить основные индикаторные минералы, характерные для метасоматической колонки медно-порфировой системы по Силлиту. Помимо выделения минеральных фаз также возможно определение кристаллохимических особенностей некоторых минералов, что позволяет охарактеризовать их условия образования.

Суть данного метода заключается в сборе спектральных характеристик в точке замера в диапазоне 350-2500 нм и последующим сравнением полученной спектральной линии с эталонной базой, на основании чего в точке определяется до 3 минералов в диапазоне SWIR и до 2 минералов в диапазоне VNIR.

Идентифицированные минералы классифицируются по схеме метасоматической зональности для медно-порфировых месторождений [1] (*Рисунок 0.*), после чего выбираются индикаторные минералы для различных метасоматических фаций.

Образец относится к той или иной зоне при наличии в замере минералов, уникальных для каждой зоны. У образцов, отобранных с керновых проб месторождения Наседкино выделены следующие метасоматические «фации»: аргиллизиты, пропиллиты, филлизиты.

Для минералов рассчитаны их кристаллохимические особенности на основе анализа спектральных линий. Для хлорита выделены его железистые и магнезиальные разности по сдвигу пика поглощения MgOH и FeOH в линии спектра. Для минералов светлых слюд (мусковит, парагонит, фенгит и их иллитовые разности) рассчитан сдвиг полосы поглощения линии спектра AlOH для определения pH минералообразующей среды и индекс кристалличности иллита (IC) для определения относительной температуры кристаллизации светлых слюд.

Портативный XRF позволяет получить полукачественные данные об элементном составе в пробе, что в последствии используется как для уточнения метасоматической

зональности, так и для поиска закономерности распределения полезного компонента относительно метасоматической колонки.

По предварительным результатам XRF анализа выявлены закономерности в содержании кальция и калия в различных фациях метасоматоза. Помимо этого проявляется Ca-Fe-As-Co-Mn-Pb-Zn-W-Mo-Bi-Ni ассоциация.

Данные, полученные по результатам XRF анализа и анализов по методике ООС используются для построения схемы метасоматической зональности месторождения Наседкино.

Список литературы

1. Corbett, G.J., 2017, Epithermal Au-Ag and porphyry Cu-Au exploration – Short Course Manual:unpubl., www.corbettgeology.com
2. Herrmann, W., Blake, M., Doyle, M., Huston, D., Kamprad, J., Merry, N., Pontual, S. 2001. Short wavelength infrared (SWIR) spectral analysis of hydrothermal alteration zones associated with base metal sulfide deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. *Econ. Geol.* 96 (5), 939–955
3. Yan Zhou, et al. 2022. Advances on Exploration Indicators of Mineral VNIR-SWIR Spectroscopy and Chemistry: A Review, *Minerals*

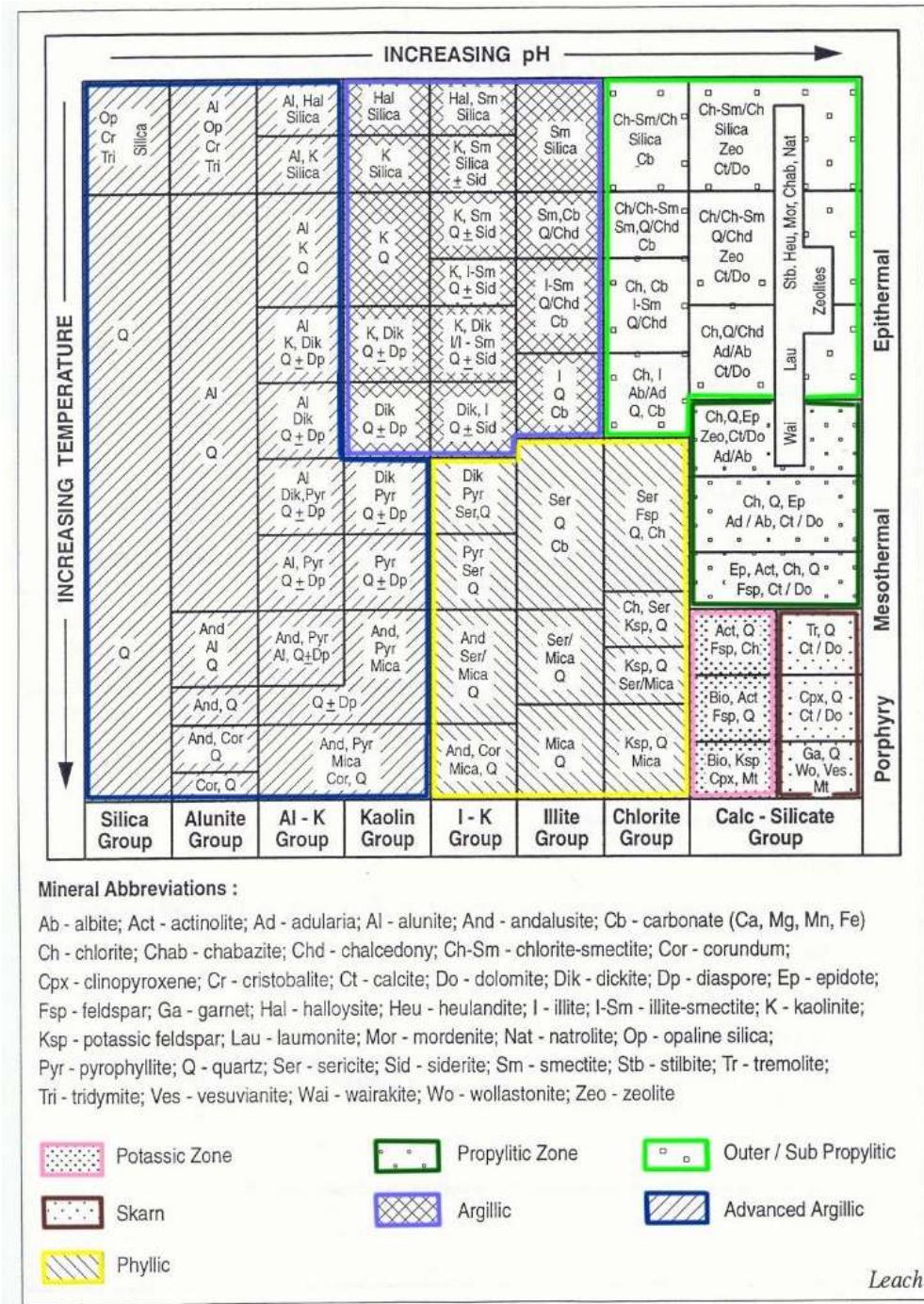


Рисунок 0. Главные минералы гидротермально-метасоматических формаций порфирово-эпитеrmальных систем