

# **«Проблемы освоения забалансовых отвалов литиевых руд Завитиского месторождения»**

(Ворогушин Н.Т. Главный геолог ПАО ХМЗ, группа компаний РОЭЛ, Волков В.В. – Генеральный директор ООО «Мирагеоинвест»).

## История освоения месторождения

Забайкальский горно-обогатительный комбинат, старейшее предприятие Края, получил свое название в 1966 году. Его история началась с разработки Завитинского оловянного. Это случилось в декабре 1937 года. Рядом с предприятием вырос поселок Слюдянка. Дальнейшие геологоразведочные работы показали, что месторождение обладает большими запасами лития, бериллия, тантала, ниобия, рудами других редких металлов. Все они успешно добывались до середины 90-х годов прошлого века.

С 1942 года предприятие занималось добычей и переработкой комплексных литиево-бериллиевых руд Завитинского месторождения и являлось единственным в Российской Федерации производителем литиевой продукции. Слюдянка в 1951 году получила статус поселка городского типа, и была переименована в поселок Первомайский. В нем проживало 17 тысяч жителей. В марте 1956 года предприятие оказалось в ведении Министерства среднего машиностроения СССР.

Переработка добываемых открытым способом руд Завитинского месторождения осуществлялась на обогатительной фабрике комбината производительностью в 1,1 млн тонн руды в год. На ее перерабатывающих мощностях достигнуто комплексное извлечение полезных компонентов и помимо основного литиевого извлекались бериллиевый, танталовый, ниобиевый, оловянный и кварц-полевошпатовый концентраты. Численность работающих в этот период составляла 6 500 человек. К концу 70-х – началу 80-х годов ЗабГЭК достиг своих лучших экономических показателей и приступил к освоению Ермаковского бериллиевого месторождения, что было успешно сделано в 1980 году. В 1991 г. было добыто 7,99 тыс. т диоксида лития.

На данный момент фабрика полностью разукомплектована, всё оборудование вывезено и продано, реконструкция будет дороже, чем строительство новой фабрики.

На Завитинском месторождении отработано 52% числящихся балансовых запасов его комплексных руд. Остаток балансовых запасов (48% от первоначально поставленных на государственный учет) по состоянию на 01.01.2019 г. по существенно литиевым рудам составляет около 30 млн тонн при среднем содержании оксида лития 0,69%. Это может обеспечить балансовыми запасами для открытой отработки только в течение 11 лет. Далее необходимо переходить к подземному способу отработки. Однако сложные горно-геологические и гидрологические условия, невысокие содержания делают отработку коренных запасов малоэффективной, впрочем как и открытая добыча. В первом квартале 2021 года стартовый аукционный платёж на недоработанные балансовые запасы составлял 3,5 млрд руб (около 50 млн долларов), а во втором полугодии этот показатель вырос примерно в 2 раза.

# Формирование забалансовых отвалов литиевых руд



Карьер Завитинского месторождения расположен в 1 км к северу-востоку от пгт Первомайский. В настоящее время не эксплуатируется, в следствие чего затоплен грунтовыми и талыми водами. Отвалы забалансовой руды (содержание  $\text{Li}_2\text{O} \sim 0,3\%$ ) расположены к северу-востоку от карьера и насчитывают около 19 млн т. Размеры кусков руды варьируются от 2500 мм до 0 мм. Отвалы формировались в течение 40 лет с 1951 г. Данных о порядке формирования отвалов нет. В составе отвалов при визуальном изучении до 20% объема могут составлять породы вскрыши.



Общий вид затопленного карьера с борта отвалов.

# Объёмы, мощности, состояние отвалов

В настоящее время вся геолого-маркшейдерская документация, которая велась при эксплуатации Завитинского месторождения, утеряна. В том числе утеряны материалы, относящихся к формированию отвалов (складов) забалансовых руд Завитинского месторождения. Поэтому в настоящее время фактические формы отвалов, их линейные параметры (длину, ширину, высоту), объёмы, а также породный и минеральный состав, невозможно восстановить в полном объёме.

Отвалы залегают на естественно поверхности земли, сложенной на рассматриваемой площади позднепалеозойскими терригенными отложениями конгломерато-песчано-алевролитового состава с горизонтами углеродсодержащих сланцев.

По данным Паспорта № 9 Отходы АО «Забайкальского ГОК» (Завитинское месторождение) размеры отвалов забалансовых руд следующие: площадь, занимаемая отвалами, составляет 25 га (0,25 км<sup>2</sup>), мощность изменяется в пределах 20-80 м. Вместе с тем, судя по космоснимкам, площадь под отвалами забалансовых руд значительно больше и составляет 0,5-0,6 км<sup>2</sup>.

Крупные отвалы (это отвалы Западного и Восточного участков) имеют объёмную форму усеченных ступенчатых пирамид. Поверхность уступов представляли собой площадки, по которой перемещались транспортные средства и сваливали привезенные порции забалансовых руд. Эти площадки частично перекрывались отходами добычи при формировании следующего уступа и т.д. По данным Паспорта № 9 Кадастра техногенных скоплений горнорудных предприятий Читинской области /15/ объём техногенного сырья на отвалах забалансовых руд составляет 19116 тыс. т или 7296 тыс. м<sup>3</sup>



Общий вид отвалов.

Вещественный состав отвалов аналогичен вещественному составу литиевых руд Завитинского месторождения. Такое заключение следует из того, что на самом месторождении забалансовые литиевые руды аналогичны балансовым рудам, отличаясь от последних только содержанием оксида лития (его содержание в них менее 0,3%). Исходя из этого следует, что отвалы сложены обломками разной размерности *сподумен-альбитового* типа пегматитов, реже - фрагментами других типов пегматитов (среди последних чаще отмечается *микроклин-альбитовый* тип).

В отвалах отсутствует закономерность в их распределении, разные типы забалансовой руды распределены хаотично, обломки разных типов пегматитов случайным образом соприкасаются друг с другом. Следовательно, в отвалах распределение оксида лития также крайне неравномерно и случайно, что усложняет их геологическое изучение.

Из попутных компонентов промышленный интерес в отвалах может представлять ниобий, тантал и олово.

О физическом состоянии отвалов можно судить по косвенным данным, а именно по способу их формирования. Отвалы представляют собой насыпи раздробленного материала магматических горных пород. Материал отвалов не сцементирован (не связан), рыхлый.

Анализ архивных данных показал, что в период полноценного функционирования «Забайкальского ГОКа» проводились разработки по получению соединений лития из отвальной руды и отвалов пустых пород

На начальных этапах формирования массива было отмечено, что руда на складе разрушается при воздействии атмосферных осадков и колебаний температуры. В связи с этим перед НИИ-10 было проведено изучение изменения сподумена в отвале и дано заключение о степени выноса лития из руды. При визуальном наблюдении руд отвала отмечается, что разрушение отдельных штуфов начинается с их поверхности. Оно выражается в осветлении сподумена и полевых шпатов, которые теряют прочность и рассыпаются, образуя дресву. Процессами выветривания остаются незатронутыми только кварц и слюда. Мелкий сыпучий материал отвала превращается в глину.

При экзогенных процессах в сподумене развивается сильная трещиноватость, особенно по периферии кристаллов и по трещинам отдельности. Измененный сподумен белый, матовый, непрозрачный, хрупкий, блеск шелковистый, легко рассыпается по трещинам спайности на отдельные тонкие иголки. Удельный вес сподумена изменяется в зависимости от степени его сохранности. Неизмененный сподумен имеет удельный вес более 3,1-3,2 т/м<sup>3</sup>, продукты его изменения – менее 2,4 т/м<sup>3</sup>. Измененный сподумен серый, мутный, в нем по сети трещин наблюдаются глинистые продукты замещения серого, зеленоватого или грязно-бурого цвета. Глинистые псевдоморфозы по сподумену изотропны. Термические исследования продуктов изменения сподумена показали, что сподумен, разрушаясь, переходит в минерал группы монтмориллонита



Для оценки степени изменения сподумена в отвале и определения остаточной концентрации оксида лития в начале 60-х годов прошлого столетия на действующем горнодобывающем предприятии был проведен ряд работ. Для установления характера изменения сподумена и степени выноса из него окиси лития, НИИ-10 были отобраны образцы с поверхности и центральных частей штуфов руды, пролежавшей в отвале в течение 1 года.

Для выделения мономинеральных фракций сподумена различной степени сохранности этот класс был разделен в тяжелых жидкостях с удельными весами 2,9 и 2,4 г/см<sup>3</sup>. Как показывали наблюдения, во фракции более 2,9 г/см<sup>3</sup> концентрируется неизменный сподумен, гранат, апатит, тантало- ниобаты. Фракция 2,9-2,4 г/см<sup>3</sup> состоит из полевых шпатов, кварца, мусковита, берилла, измененного сподумена. Во фракции менее 2,4 г/см<sup>3</sup> концентрируются продукты изменения сподумена. Все мономинеральные фракции, выделенные из образцов, проанализированы на содержание в них Li<sub>2</sub>O.



Гранулометрический состав отвалов из шурфа на поверхности отвалов. Видна высокая степень выветрелости обломков

Таким образом, отметим основные результаты, полученные НИИ-10 в 1962 году, при изучении лежалых отвальных руд:

- 1) Сподумен, находясь в отвале и подвергаясь воздействию поверхностных процессов, сравнительно быстро разрушается;
- 2) В среднем количество окиси лития, сконцентрированное за счет сподумена, отобранного в приповерхностных частях штуфов равно 4,76%, а во внутренних частях тех же штуфов оно равно 6,28%, т.е. содержание окиси лития на поверхности на 25% ниже, чем внутри образцов;
- 3) Вынесенный из сподумена литий не концентрируется в других минералах, а мигрирует с водами.

**Эти выводы требуют заверки, которая и проводится в процессе проведения ГРР отвалах забалансовых руд.**

Кроме описанных выше исследований на складе сподуменовой руды Завитинского месторождения на начальных этапах его формирования проводились исследования по определению количества лития в массиве. Производилось опробование в буровых скважинах и шурфах.

Результаты показали, что в теле сформированного массива процентное содержание лития с глубиной уменьшается. Это обусловлено тем, что нижние горизонты большой период времени подвергались процессам выветривания и соответственно значительная часть оксида лития подверглась выщелачиванию.

Активно идут процессы разрушения крупных кусков руды с образованием дресвяно-песчано-глинистой фракции. По визуальной оценки соотношение грубообломочной (условно более 5мм) и песчано-дресвяно-глинистой фракции на поверхностях отвалов : 50-60% к 40-50%

# Лицензия и проект ГРР

Для обеспечения потребности ПАО "ХМЗ" в литиевом сырье получена лицензия ЧИТ 02889 ТП по заявочному принципу на проведение геологического изучения Восточно-Завитинского участка с отвалами. На основании лицензии и приведенных выше данных, обоснована необходимость проведения геологического изучения Восточно-Завитинского участка. Все работы по проекту выполняются за счет собственных средств ПАО «ХМЗ». Работы будут выполняться по договору подряда с компанией ООО «МираГеоИнвест» обладающей всем необходимым кадровым и материально-техническим потенциалом.

На сегодня пробурено ..... Пог метров бурения, ..... Скважин. Подготовлено к отправке .... Проб .

## Буровые работы

Для правильной оценки объема отвалов и для подсчета прогнозных ресурсов и запасов проектом было предусмотрено пересечение отвалов на полную мощность и поинтервальное опробование всего их разреза. Буровыми работами решаются следующие задачи:

- изучение рудоносности отвалов с целью определения в них промышленной ценности оксида лития, оценка изменчивости оруденения в разрезе, изучение внутреннего строения отвалов;
- создание разведочной сети, достаточной для геометризации запасов оксида лития по категории С<sub>2</sub>, а для подтверждения достоверности запасов на отдельном небольшом, но представительном участке будет создана сеть для более детального изучения отвалов и заверки принятой оценочной сети;
- отбор необходимого количества каменного материала из керна скважин для проведения технологических исследований руд отвалов;
- отбор образцов для изучения физико-механических свойств пород и руд.





Завал поверхности отвалов негабаритными глыбами.

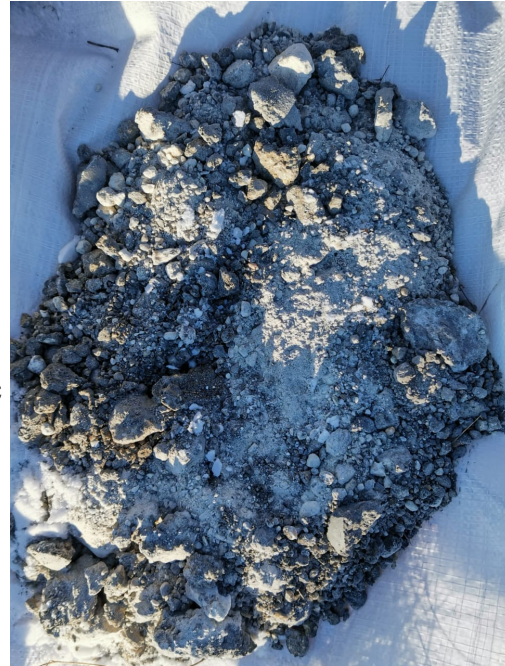
Бурение поисковых скважин планировалось провести на всех отвалах, расположенных в контурах Восточно-Завитинского участка недр, но в ходе выполнения пеших геологических маршрутов и топосъемки масштаба 1:2000 выяснилось, что часть отвалов отсыпана негабаритами с карьера, часть полук пересыпана так, что вести буровые работы как на колесном так и на гусеничном шасси не представляется возможным, а затраты на подготовку площадок (бульдозерные и экскаваторные работы) не сопоставимы даже с затратами на бурение (выше в 1,5 -2 раза). Кроме того, проектом ГРП средняя глубина скважин запроектированы на уровне 12,1 м по факту при начале бурения на 4-ом отвале факт по скважинам составил 28-20м, а максимальная глубина скважины составляет 40 метров.

В связи с вышеизложенным буровые работы запланированы в проектом объеме до 700п.м., но с учетом рельефа сетка бурения и глубина бурения изменена.

Сеткой бурения покрыта часть отвалов №1;2;4, отвал №3 пересыпан негабаритами и не имеет подъездов. Всего покрывается бурением около 60% всей площади отвалов. Расчет количества скважин основан на том, что техногенная природы отвалов предполагает относительно равномерное распределение рудного материала в них. Последнее позволяет пройти по одной-две скважины по каждому отвалу до подошвы и, исходя и выше сказанного, они позволят получить общее представление о промышленной значимости изучаемых объектов в современных экономических условиях.



Отвалы сложены разнородным по крупности материалом. При прохождении интервалов с глинистой фракцией проблем не возникает, материал обладает хорошей буримостью, четко отбивается интервал бурения 1п.м. и выход материала близок к 100%. При попадании на негабарит применение коронки типа КПЗ, КТ в принципе не позволяет вести бурение так как данные коронки не рассчитаны на проходку по категории пород с данной крепостью которой обладают негабариты. В связи с этим применяется коронка типа КНШ которая раздробливает материал и далее данный диапазон проходим снова колонковой трубой с коронкой типа КПЗ, КТ и выбираем материал. Выход керно-шлама в среднем составляет около 80%. При данных условиях нет возможности получить отдельный керн по негабаритной части (крупноглыбовой фракции) отвалов и по песчано-глинистой фракции, в пробу попадают обе фракции. Негабариты фиксируются буровиками по изменению режима бурения и это отражается в буровых журналах.



Керн в целом однороден, интервалы отличаются большим или меньшим количеством вмещающих пород, что выражается в изменении количества темноцветных обломков.

# Технологические особенности и предполагаемые методики обогащения

Отвалы сложены двумя типами потенциальных руд с разным гранулометрическим составом и с разной потенциальной схемой обогащения:

- щебнисто-глыбовые куски (более 5 мм), в которых условно могут сохраниться кристаллы сподумена составляют оценочно 50-60% объёма отвалов ;
- песчано-глинистая фракция, в которой сподумен перешёл в глинистые материалы и из которой в процессе обогащения можно получить танталовый концентрат и, возможно, существуют технологии получения лития гидрометаллургическим способом.

Из щебнисто-глыбовой фракции была отобрана технологическая проба (3 т) для изучения возможностей получения сподуменового концентрата методами, альтернативными флотации. В ИМСом разработана программа испытаний руд с целью найти процесс, позволяющий минимизировать затраты на строительство фабрики (в идеале весь обогатительный процесс желательно сделать на мобильных установках) и на себестоимость переработки:

- сухое дробление с пневмосепарацией;
- рентгено-радиометрическая сепарация;
- тяжёлосредняя сепарация ( DMS сепарация);
- высокочастотная отсадка;
- гравитационные методы.

Из песчано-глинистой фракции отобрана проба (50 кг) на изучение возможностей применения гидрометаллургических методов. Также готовится проба на оценку возможности получения танталового концентрата из данной фракции. В конце 90-х годов, на остатках оборудования в цехе гравитационного обогащения перерабатывали песчано-глинистую фракцию отвалов с получением 15-17% танталового концентрата.

# Проблемы опробования, составления кондиций и подсчёта запасов

В процессе проектирования, наземных маршрутов, отбора технологических проб и бурения выявился целый ряд проблем и вопросов, которые не позволяют однозначно подойти к составлению кондиций и оценке запасов полезных компонентов отвалов завитинского месторождения.

1. Неравномерность и разновозрастность формирования отвалов ведёт к разной степени выветривания минералов, особенно сподумена, как по латерали, так и по вертикали.
2. Наличие двух фракций (щебнисто- глыбовая и песчано-глинистая) ведёт к необходимости применения разных технологических схем при переработке отвалов. Однако не при производстве бурения, ни при визуальной оценке мы не можем определить процентное соотношение этих фракций, к тому же оно вероятно меняется от отвала к отвалу и по вертикали.
3. В идеале, при подсчёте запасов мы должны были бы определить средние содержания лития в щебнисто-глыбовой фракции, определить её процентное содержание в отвалах, посчитать запасы этой фракции в отвалах и их поставить на баланс и по этим запасам готовить проект отработки с получением сподуменового концентрата. Но при опробовании буровых проходок мы не можем этого сделать и по факту у нас в запасы пойдут как извлекаемые запасы (щебнисто-глыбовая часть) так и неизвлекаемые запасы (литий в глинисто-песчаной фракции с каолинизированным сподуменом).
4. Такая же ситуация возникает и в случае получения положительных данных по извлечению танталита: мы его экономически эффективно можем извлечь только из песчано-глинистой фракции.
5. При подсчёте запасов необходимо будет применять поправочные коэффициенты к объёмам запасов в соответствии с процентным содержанием разных фракций: к литию -0,5-0,6 (50-60% грубой фракции из которой можно получить сподуменовый концентрат) и к танталу 0,4-0,5 (40-50% тонкой фракции из которой можно получать танталовый концентрат). Однако и применение данных коэффициентов не позволит точно определить реальные средние содержания элементов в разных фракциях, поскольку в одной пробе будут обе фракции.

Также остаётся и проблема неравномерности сети опробования – сети буровых скважин.

## Предполагаемые схемы отработки

По результатам технологических испытаний руд будут сформированы технологические регламенты отработки. Предполагается, что на первой стадии отвалы будут разделены по гранулометрическому составу на два класса руд: мелко-тонкообломочные (-5мм) и грубообломочные (+5 мм). Работы по фракционированию и первичной рудоподготовке можно будет вести круглый год.

Мелко - тонкообломочные руды пойдут на гравитационное обогащение и магнитную сепарацию, ожидается получение танталового 15-20% концентрата.

Грубообломочные руды пройдут сначала грубое дробление и рентгено-радиометрическую сепарацию для отделения кусков вмещающих сланцев, затем стадия сухого дробления и возможно воздушная сепарация, затем фракционирование материала и обогащение различными методами. В результате планируется получить сподуменовый концентрат с содержаниями 2-4 % который можно будет перерабатывать на Красноярском ХМЗ

**Предложения по Организации работ с техногенными месторождениями редких металлов.**

- 1. На техногенные образования выдавать недропользователям сквозные лицензии и не заставлять их вести ненужную и не отражающую реальность работу по оценке запасов и постановке их на баланс, как это делается сегодня. Возможно следует выработать упрощённую методику по учёту таких запасов**
- 2. Разрешать вести опытно-промышленные работы по обогащению полезных ископаемых с момента получения сквозной лицензии на условиях предпринимательского риска (в соответствии с законом о трудноизвлекаемых полезных ископаемых от 2 декабря 2019 года).**
- 3. На большинство техногенных образований при их добыче были уплачены налоги на добычу, таким образом для стимулирования отработки техногенных отложений отменить на них НДС.**
- 4. Основной проект по отработке отвалов разрабатывать на основе данных, полученных в результате опытно-промышленных работ, экстраполируя их на весь объём техногенных отложений.**
- 5. Запасы ставить на баланс по результатам фактических данных по отработке и одновременно их списывать**
- 6. Роснедра выделили площади, которые планируется изучать за госбюджет до 2024 г., предлагаем внести в эти площади отдельной строкой изучение техногенных отложений редкометальных месторождений – их достаточно много и включая такие образования в добычу можно до статочно быстро увеличить производство редких металлов в РФ**