

Отзыв на диссертацию Баяндиной Элизы Олеговны

Исследование геологических условий и результатов избирательного истирания керна сильвинитов при разведке Верхнекамского месторождения

Диссертация представлена на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.11. – Геология поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения. Работа выполнена в Федеральном Государственном бюджетном образовательном учреждении Российский Государственный Геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ) под руководством доктора г.-м. н. А.И. Кудряшова.

Цель работы. Разработать методику корректировки содержаний нерастворимого остатка солей (Н.О.) на основе исследования геологических условий Верхнекамского месторождения и анализа результатов избирательного истирания керна сильвинитов по данным геологоразведочных работ.

Актуальность работы определяется наличием существенных расхождений между содержаниями Н.О., оцененными по данным разведочного бурения и установленными по результатам эксплуатации. Содержание нерастворимого остатка солей определяет выбор способа обогащения полезного ископаемого и влияет на стоимость переработки сильвинитовых руд и на расходы по размещению глинисто-солевых шламов. Таким образом, выявление причин расхождения в оценках данного показателя на стадиях разведки и эксплуатации, а также разработка методики введения поправок в данные бурения представляются достаточно актуальными и важными.

В работе сформулированы основные задачи исследований, направленные на достижение поставленной цели. В числе этих задач: оценка достоверности эксплуатационного опробования, разработка методики сопоставления разведочных и эксплуатационных данных, исследование динамики избирательного истирания керна, получение уравнений для корректировки содержаний Н.О. по данным опробования керна.

Перечень этих задач возражений не вызывает.

Фактической основой для решения поставленных задач являлись результаты эксплуатационного бороздового и кернавого опробования, а также данные опробования поверхностных разведочных скважин по всем рудникам и участкам Верхнекамского месторождения калийных солей. Всего в исследовании вовлечены данные по 5606 эксплуатационным пластопересечениям, в том числе 4715 – по бороздovому опробованию

и 891 - по керновому опробованию скважин подземного бурения. В сопоставлении с ними участвуют данные по 816 солеразведочным поверхностным скважинам колонкового бурения, включающие 2695 пластопересечений. Кроме того, проведены экспериментальные работы с отбором 65 пар бороздовых проб и 30 пар горстьевых проб (оценка качества обработки). Проведение исследований сопровождалось анализом большого числа литературных и фондовых источников.

Ведущими методами исследований являлись геологический анализ исходных данных геологической документации и опробования и статистическое моделирование количественных характеристик соленосной толщи. Используются также подходы, основанные на изучении пространственных закономерностей в изменении значений признаков.

В процессе работы проводились расчеты средних значений геологоразведочных параметров, дисперсии и коэффициентов вариации. Выполнялся корреляционный анализ данных, рассчитывались уравнения линейной регрессии. При проведении расчетов использовались современные компьютерные технологии.

Научная новизна работы, по мнению автора, сводится к следующим аспектам:

Динамика истирания керна сильвинитов не зависит от их разновидностей.

График расхождения данных (ГРД) разведки и эксплуатации для содержаний Н.О. неоднороден и представлен четырьмя участками: интервалом загрязнения проб, участком отсутствия расхождений, участком прогрессирующего избирательного истирания керна, пределом избирательного истирания.

Геологической причиной неоднородности графика расхождений между данными разведки и эксплуатации для содержаний Н.О. является различие форм нахождения этого компонента в породе.

Практическая значимость работы. Разработана методика корректировки содержаний нерастворимого остатка солей по данным опробования поверхностных разведочных скважин. Методика прошла апробацию на ЭТС ГКЗ Роснедра и рекомендована к использованию при разработке ТЭО разведочных кондиций и подсчете запасов.

Апробация работы. Основные результаты исследований и положения диссертации опубликованы в 13 статьях, в том числе 3 статьи представлены в изданиях, перечень которых рекомендован ВАК РФ. Материалы работы докладывались и обсуждались научных конференциях и семинарах различного уровня в период 2015-2016гг.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из 2 томов. Том 1, содержащий основной текст, изложен на 145 страницах машинописного текста. Он состоит из

введения, семи глав и заключения. Работа содержит 60 иллюстраций, 20 табличных приложений и список литературы, включающий 176 наименований. Том 2 объемом 176 страниц, содержит 26 табличных и текстовых приложений.

Во введении дается общая характеристика работы и ее основные положения.

Первая глава посвящена описанию особенностей геологического строения Верхнекамского месторождения солей. Приведены сведения о его стратиграфии, литологии и тектонике. С достаточной полнотой охарактеризован промышленный горизонт залежи, описаны разновидности сильвинитов.

Вторая глава содержит характеристику нерастворимого остатка солей (Н.О.). Дано описание форм нахождения, гранулярного и минерального состава остатка. Рассматриваются мнения различных авторов о генезисе Н.О. Приведены сведения, поясняющие влияние нерастворимого остатка на выбор способов обогащения полезного компонента и на процессы освоения месторождения в целом.

Третья глава характеризует состояние вопроса о результатах изучения и учета содержаний Н.О. и содержит постановку задач по проведению исследований. Отмечается, что достоверность данных эксплуатационной разведки в отношении содержаний Н.О. изучена в недостаточной степени. Статистическая обработка данных эксплуатационного бороздового и кернового опробования скважин подземного бурения, выполненная в пределах рудников ПАО «Уралкалий» сотрудниками НПФ «Геопрогноз», в том числе и автором диссертационной работы, выявила по ним значимые расхождения в оценке содержаний Н.О., выражающиеся в занижении этого параметра по керну скважин.

Сопоставление данных разведки и разработки относительно содержаний нерастворимого остатка солей, проведенное по ряду участков (шахтных полей) месторождения, показало наличие трех типов площадей, различающихся знаком и величиной расхождения данного параметра, а также его средними значениями.

При анализе причин расхождений содержаний Н.О. по данным разведки и эксплуатации основное внимание уделено избирательному истиранию керна. Указывается, что в работах Мягкова В.Ф., посвященных данному вопросу, отмечается 2 явления: потеря Н.О. при механическом истирании керна и повышение его содержаний за счет выщелачивания сильвинита буровым раствором.

Автором проведен анализ уравнений, предлагавшихся в разное время для введения поправок в содержания Н.О. по керну поверхностных скважин. Сделан вывод о несостоятельности этих уравнений, как противоречащих фактическим данным, полученным позднее.

На основании анализа сложившейся ситуации предложен перечень задач для проведения дальнейших исследований.

Четвертая глава посвящена характеристике методики исследований и фактологической базы. Приведено описание существующей методики определения содержаний нерастворимого остатка. Предложен алгоритм решения поставленных задач, включающий как использование стандартных процедур, так и применение новой методики сопоставления данных разведки и эксплуатации.

Работами предшественников установлено, что бороздовые пробы разного сечения (6х3см и 3х2см) характеризуются сходными результатами и могут считаться достаточно надежными для определения содержаний Н.О.

Отмечается, что требования к погрешности обработки проб и выполнению анализов проб на содержание Н.О. в существующих методических руководствах четко не сформулированы. Для определения качества обработки проб выполнен эксперимент по 30 парам навесок из горстьевых проб. Установлено, что относительная погрешность обработки составляет 7.38%, что признается приемлемой величиной.

Для оценки качества выполнения анализов составлены выборки из основных и контрольных проб для классов содержаний Н.О. менее 2% и более 2%. Установлено, что относительная среднеквадратическая погрешность составила 19.35% и 13.09%.

Предлагаемая методика сопоставления данных разведки и эксплуатации (эксплуатационной разведки) основывается на выделении в объеме месторождения дискретных (элементарных) участков, учитывающих наличие тренда в изменении признака. Описаны принципы выбора таких участков сопоставления данных (УСД) и обоснования их размеров, которые возражений не вызывают.

Принято, что площадь УСД не должна превышать 8 км². Всего выделено 136 УСД, которые характеризуются наличием данных опробования скважин поверхностного бурения и результатов эксплуатационного опробования (бороздового и кернового).

В пределах УСД проведено сравнение данных бороздового опробования и опробования керна подземных эксплуатационных скважин. В соответствии с технологией бурения скважины были разделены на две группы – восходящие и нисходящие. Дополнительно выборки для сопоставления были разделены по промышленным пластам.

Среднее содержание нерастворимого остатка по бороздовым пробам в пределах каждого УСД было принято за истинное (Н.О._н); с ним сравнивалось среднее содержание Н.О. по керну скважин подземного бурения (Н.О._к). Мерой расхождения данных являлась разница (Δ) между средним содержанием по бороздовым пробам и пробам керна: $\Delta = \text{Н.О.}_н - \text{Н.О.}_к$. Для изучения условий избирательного истирания строились графики расхождения

данных (ГРД). Описание результатов сопоставления приведено далее в главе 5.

Исследование динамики избирательного истирания керна при разведке с поверхности проведено сопоставлением содержаний Н.О. по каждой конкретной скважине с данными эксплуатационной разведки, локализованными в пределах площадей (элементарных ячеек месторождения - ЭЯМ), имеющих форму круга диаметром 0.5км. Всего было выделено 224 ЭЯМ, в каждой из которых имелось 2-38 пересечений эксплуатационной разведки, включая ограниченное количество откорректированных данных опробования керна скважин подземного бурения. Для сопоставления, как и в предыдущем случае, строились графики регрессии.

Объем фактического материала следует считать вполне достаточным для обоснования полученных выводов.

Пятая глава описывает исследования по оценке достоверности эксплуатационного опробования. С этой целью были проведены эксперименты по отбору сопряженных (вложенных) бороздовых проб сечением 6х3см и 3х2см в пределах пластов КрII (35 пар проб) и Б (30 пар проб). Содержания Н.О. в пробах изменяются в широком диапазоне (от 0.5 до 15%), что позволяет считать выборки достаточно представительными. Статистическими расчетами и результатами корреляционного анализ показана идентичность результатов опробования бороздовыми пробами разного сечения. На этой основе делается вывод о высокой достоверности бороздового опробования в целом.

Корректировку данных кернового опробования восходящих и нисходящих скважин предлагается выполнять на основе подходов, изложенных в главе 4. Графики расхождения данных, построенные для разных пластов по восходящим скважинам после процедуры сглаживания их скользящим окном, визуально показывают относительно близкую сходимость, что позволяет сделать автору вывод об отсутствии влияния на избирательное истирание состава сильвинитов. Этот вывод изложен в виде тезиса 2, хотя в самом тексте главы он не сформулирован.

Для данных, объединенных по пластам по восходящим скважинам, при сравнении их с результатами бороздового опробования, получено уравнение вида: $H.O._н = 1.46 * H.O._к - 0.05$, которое предлагается для корректировки содержаний нерастворимого остатка в керновых пробах. Коэффициент корреляции в этом случае составил 0.90; объем выборки - 104 пары значений.

По нисходящим скважинам объем выборки составил 20 пар значений. Уравнение для корректировки значений имеет вид: $H.O._н = 1.99 * H.O._к - 0.86$. Коэффициент корреляции составил 0.69.

Общий слаженный ГРД для восстающих скважин описывается уравнением: $\Delta =$

0.26 – 0.37*Н.О._н, а для нисходящих скважин – уравнением: $\Delta = 1.64 - 0.74 * \text{Н.О.}_{\text{н}}$.

Далее в главе 6 показано, что ГРД для поверхностных скважин описывается уравнением: $\Delta = 1.0 - 0.6 * \text{Н.О.}_{\text{н}}$.

Различие вида уравнений для разных типов скважин может говорить о влиянии режимов бурения на результаты избирательного истирания керна. Вместе с тем, этот факт в тексте диссертации не обсуждается.

Шестая глава посвящена анализу причин расхождения содержаний нерастворимого остатка по данным разведки и эксплуатации. Представлены графики сопоставления данных по пластам и пачкам пластов (4 шт.). По ним, после исключения «аномальных» точек, отмечается тенденция увеличения отрицательных отклонений при повышении содержания Н.О. Отмечается так же, что крайней левой части графика в интервале содержаний Н.О. 0.5-0.72% имеется область, в которой разница Δ является положительной с приблизительно одинаковым значением на уровне 0.41%. Это явление автор объясняет «загрязнением» чистого сильвинита примесями, поступающими, возможно, из бурового раствора. В области содержаний Н.О. 0.72-2.0% разница Δ находится на уровне нулевых значений.

На основе приведенных данных формулируется первое тезисное положение: ***При содержании нерастворимого остатка в сильвините менее 2% избирательного истирания керна не происходит, что обусловлено нахождением несоляных компонентов в породе в виде включений в кристаллах соляных минералов и вкраплений в межзерновом пространстве.***

Данное положение следует считать доказанным. Можно только заметить, что высказывания о причинах отмеченного явления носят скорее предположительный характер, поскольку в тексте главы они не рассматриваются. Кроме того, в тезисе игнорируется наличие первой области (интервал до 0.72%), в которой происходит «загрязнение» сильвинитов.

Приведенный анализ графиков расхождения данных по совокупности пластов, сглаженных скользящим статистическим окном, показал, что они имеют сходную динамику изменения. Поскольку в пластах преобладают определенные разновидности сильвинитов, на основе этого анализа формулировано второе тезисное положение: ***Интенсивность избирательного истирания керна не зависит от разновидностей сильвинитов (красные, полосчатые, пестрые), а связана только с содержанием в них нерастворимого остатка.***

С этим тезисным положением, в целом, также следует согласиться. Аналогичное совпадение графиков отмечалось в главе 5, что подкрепляет полученный вывод. Вместе с

тем, к нему можно высказать ряд замечаний:

- термин «интенсивность» избирательного истирания в предыдущем тексте работы не встречается; следовало бы пояснить, что под этим имеется в виду;

- сходимость графиков иллюстрируется только визуально; можно было бы подтвердить ее статистическим анализом характеристик корреляционной связи;

- график для пласта Б в правой нижней части имеет перегиб, не характерный для других пластов; по этому вопросу следовало бы дать соответствующие пояснения.

Анализ сглаженных ГРД позволил автору выделить «пороговое» значение Н.О., равное 2%, до которого не проявляется стабильное занижение его содержаний при бурении поверхностных скважин. Физико-геологическая сущность этого «порога» заключается в появлении в пласте прослоек галопелитов достаточной мощности для раскалывания керна. Его наличие исторически фиксировалось также по зависимости между прочностью на сжатие и содержанием Н.О. На данной основе формулируется третье тезисное положение: *Избирательное истирание керна имеет место при содержании нерастворимого остатка более 2%, что вызвано наличием в сильвинитовых пластах обособленных прослоев галопелитов, по которым происходит раскалывание керна на столбики.*

Данное тезисное положение, в целом, можно считать доказанным. Вместе с тем, следует обратить внимание, что оно тесно связано с первым положением и могло бы объединиться с ним в один вывод. Кроме того, влияние пропластков галопелитов на избирательное истирание керна не подкрепляется какими-либо статистическими исследованиями, хотя возможности для этого (в виде обширной геологической документации) у автора явно имелись.

Дальнейший анализ сглаженных ГРД дал возможность автору выделить область в интервале значений Н.О. 2 - 10%, в пределах которой отмечается устойчивое изменение (понижение) величины Δ в зависимости от истинного содержания нерастворимого остатка. Эта тенденция имеет линейный характер и описывается в заданном интервале уравнением вида: $D = |1,00 - 0,60 \cdot \text{Н.О.}_{\text{и}}|$, где D обозначает величину избирательного истирания ($D = |\Delta|$).

За пределами граничного значения 10% разница Δ , по мнению автора, имеет постоянное значение 5.1% (плато). Таким образом, значение $\text{Н.О.}_{\text{и}} = 10\%$ рассматривается как второй «порог» процесса истирания керна. Исходя из этого, предлагается четвертое защищаемое положение: *При достижении содержания нерастворимого остатка в сильвинитах более 10% имеет место предел избирательного истирания керна, после которого расхождение между данными разведки и эксплуатации остается*

постоянным.

Это тезисное положение можно считать доказанным, хотя геологические или физические причины наличия такого порога не объясняются.

По совокупности полученных результатов и представления обобщенного ГРД формулируется пятое тезисное положение: ***Выявленные закономерности избирательного истирания керна являются основой для получения корректировочных уравнений данных разведки.***

Седьмая глава посвящена корректировке данных разведки с поверхности о содержании нерастворимого остатка в сильвинитах промышленных пластов. Фактически она посвящена раскрытию аспектов применения корректировочных уравнений, о которых было заявлено в пятом тезисном положении; было бы логично к данной главе отнести и само защищаемое положение.

На сводном ГРД выделяются 4 участка Н.О._н в интервалах значений (%): 0.5-0.72, 0.72-2.0, 2.0-10.0 и более 10. Соответственно, предложено четыре вида поправок:

для участка 1 (Н.О._н < 0.72) – $H.O._n = H.O._p - 0.41$

для участка 2 (0.72 < Н.О._н < 2.0) – $H.O._n = H.O._p$

для участка 3 (2.0 < Н.О._н < 10.0) – $H.O._n = 2.54 * H.O._p - 2.87$

для участка 4 (Н.О._н > 10.0) – $H.O._n = H.O._p + 5.10$

Принципы внесения поправок возражений не вызывают. Вместе с тем, следовало бы показать их согласованность с представленными ранее уравнениями для ГРД.

В главе установлены области функционирования поправочных уравнений относительно содержаний Н.О. по данным разведки. Проведено районирование месторождения применительно к введению поправок, в том числе по его отдельным пластам. Показано, что корректировка содержаний Н.О. не изменяет принципиально строения геохимических полей осадочных образований. Коэффициент корреляции между содержаниями Н.О. в пластах сильвинитового состава по данным разведки и после корректировки на всей площади их развития является достаточно высоким и составляет в среднем +0,97.

Таким образом, пятое тезисное положение можно считать доказанным.

В заключении отмечается, что диссертационная работа базируется на анализе большого объема фактического материала по опробованию солей при разведке с поверхности земли и эксплуатации ВКМС. Основные положения работы отражены в форме защищаемых тезисов.

Дополнительно следует отметить практические и методические аспекты работы. Проведено опытно-экспериментальное опробование сильвинитов пластов КрII и Б,

осуществлен отбор двойных проб в целях контроля обработки проб по применяемым на ВКМС схемам; получена оценка погрешности химического анализа при определении содержания Н.О.

Установлено, что наиболее достоверным в условиях ВКМС является бороздовое опробование. Сопоставление рядовых и контрольных анализов сильвинитовых проб показало, что среднеквадратическая абсолютная погрешность при определении содержаний Н.О. химическим анализом составляет 0.18% (при содержаниях Н.О. < 2%) и 0.44% (при содержаниях Н.О. > 2%).

Была разработана новая методика сопоставления данных разведки и эксплуатации, что дало возможность получить ряд ранее неизвестных закономерностей и зависимостей. Установлено, что при опробовании керна скважин подземного бурения происходит занижение содержаний Н.О. относительно содержаний по данным бороздового опробования. Поправочные уравнения различаются для восстающих и нисходящих скважин.

Получена серия поправочных уравнений, применение которых зависит от интервала содержания Н.О. по данным разведки. Проведено районирование по применению поправочных уравнений для всех промышленных пластов ВКМС.

Результаты диссертационного исследования явились основой «Методики корректировки содержания нерастворимого остатка в пластах Верхнекамского месторождения солей по данным геологоразведочных скважин», которая была утверждена ЭТС ГКЗ Роснедра 26.05.2015 г. и рекомендована для применения с целью уточнения качества руд при составлении ТЭО кондиций и подсчета запасов сильвинитов ВКМС.

Материалы диссертации, использованы для планирования качества руд Вогульского участка ПАО «Уралкалий» и шахтного поля ООО «ЕвроХим – Усольский калийный комбинат».

Можно отметить ряд недостатков оформления и представления материалов:

1) Название работы не в полной мере отражает ее сущность. Основным объектом исследований является *нерастворимый остаток (Н.О.)*; в работе рассматривается его геологическая природа, проявление при разведке и эксплуатации в результатах анализов, предлагается корректировка определений, установленных по данным разведки. Вместе с тем, этот предмет в названии работы никак не отражен.

2) Автором сделан акцент на избирательном истирании керна, которое является только одной из причин расхождений содержаний Н.О. по данным разведки и эксплуатации. Следует к тому же отметить, что этот фактор (избирательное истирание) не проявляется при содержаниях Н.О. менее 2%; при содержаниях более 10% его роль

снижается. В результате все тезисные положения диссертации сосредоточены только в одной шестой главе.

3) В главе 3 определены задачи исследований, которые предполагают формулировку связанных с ними тезисных положений; в данной работе это соответствие соблюдено лишь частично. В результате из тезисных положений выпало методическое достижение автора, отраженное как научная идея – сопоставление проводить в пределах дискретных элементарных участков месторождения.

4) В работе имеется много аббревиатур и сокращений, которые непосредственно в тексте не расшифровываются; например, термин нерастворимый остаток (Н.О.) описан в полном виде только в списке сокращений.

5) Не даны пояснения относительно изучения избирательного истирания керна в отрыве от таких показателей как выход керна (линейный и объемный) и качество бурения в целом. Косвенно влияние этих показателей на результаты исследований иллюстрируется в работе различием характеристик корреляционной связи для восстающих и нисходящих скважин подземного бурения при эксплуатационной разведке.

В целом, не смотря на высказанные замечания, выполненная диссертационная работа имеет законченный вид. Её содержание и оформление соответствует существующим требованиям; результаты работы имеют научное и прикладное практическое значение.

По теме диссертации опубликовано 13 статей, в том числе 3 статьи в журналах, аттестованных ВАКом, сделаны доклады на семинарах и конференциях.

Содержание автореферата в основных позициях соответствует содержанию диссертационной работы. Его объем удовлетворяет существующим требованиям.

Проведенные исследования характеризуют Баяндину Э.О. как квалифицированного специалиста в области применения современных методов исследований при разведке и оценке запасов месторождений полезных ископаемых. Баяндина Э.О. несомненно заслуживает присвоения ей ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Рецензент - кандидат г.-м. наук,
гл. специалист ФБГУ «ВИМС»

Кушнарев П.И.

